EEG UND AUTOMATISATION
NEUROPHYSIOLOGISCHE UNTERSUCHUNG AN RATTEN

Hannelore Herzog

1972

AUS DEM MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PSYCHIATRIE MÜNCHEN
Direktor: Prof. Dr. D. PLOOG

EEG UND AUTOMATISATION
NEUROPHYSIOLOGISCHE UNTERSUCHUNG AN RATTEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfasst und
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Hannelore Herzog

aus Thannhausen

München 1972

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. D. PLOOG
Dekan: Prof. Dr. W. SPANN

Tag der mündlichen Prüfung: 18.7.1972

MEINEN ELTERN
JONAS UND ANNA SPIRYDOWICZ
IN DANKBARKEIT GEWIDMET

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546015_0100

INHALTSVERZEICHNIS

A. EINLEITUNG 5

I. Problemstellung 5

II. Zielsetzung 5

B. LITERATUR 8

I. Literatur zur Problemstellung 8

II. Literatur zu ähnlichen Humanexperimenten 11

III. Literatur zu ähnlichen Tierexperimenten 12

C. MATERIAL UND METHODE 15

I. Material 15
1. Versuchsobjekte 15
2. EEG-Ableitung und Aufzeichnung 15
3. Apparaturen 17

II. Methodik 19
1. Vorversuch 19
2. Vorbereitung der Tiere für den Hauptversuch 25
3. Hauptversuch 26
4. Auswertung

D. VERSUCHSVERLAUF 30

E. EIGENE ERGEBNISSE 43

F. DISKUSSION 46

I. Diskussion der eigenen Ergebnisse 46
1. Frequenz und Rhythmus 46
2. akustischer Reiz 48
3. Ableitung 49
4. Auswertung 50
5. Zusammenfassung von I. 50

II. Diskussion der Arbeit von Vogel, Broverman und Klaiber 51
1. Alpha-Veränderung beim Menschen 51
2. Beziehung zwischen langsamen Wellen und Aufgabenlösung 51
3. Aufgabenstellung 52
4. Bedeutung der Frequenzverlangsamung 53
5. Zusammenfassung von II. und Hinweise auf biochemische Untersuchungen 53

III. Diskussion der übrigen Literatur 54
1. Das Auftreten langsamer Wellen 54
2. Der Ursprungsort der langsamen Wellen 55
3. Erklärung der langsamen Wellen 56
4. Zusammenfassung von III. 56

G. ZUSAMMENFASSUNG 57

H. TERMINOLOGIE 58

I. LITERATURVERZEICHNIS 59

A. EINLEITUNG

I. PROBLEMSTELLUNG

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der bisher allgemein vertretenen Lehrmeinung, dass EEG und geistige Fähigkeiten in keiner Beziehung zueinander stehen.

Dieser Auffassung traten William Vogel und Donald M. Broverman 1964 (44) und 1966 (45) entgegen. Ausserdem veröffentlichten sie 1968 (46) zusammen mit Eduard L. Klaiber eine Arbeit, die sich mit den Zusammenhängen zwischen EEG und Intelligenz befasst. Sie untersuchten in einem Humanexperiment die Auswirkungen eines einzelnen Intelligenzfaktors auf das EEG. Dazu wurde aus der Vielzahl der Intelligenzfaktoren die Automatisierfähigkeit als einzelner Bezugsfaktor ausgewählt.

Die von ihnen erzielten Ergebnisse interpretieren sie als bedeutungsvolle Beziehung zwischen geistigen Fähigkeiten und neurophysiologischen Parametern.

Damit erscheint die Ablehnung einer Beziehung zwischen EEG und Intelligenz nicht mehr wie bisher gerechtfertigt.

II. ZIELSETZUNG

Ziel dieser Arbeit ist es, die von Vogel, Broverman und Klaiber im Humanexperiment erzielten Resultate nachzuvollziehen.
Dabei bietet sich einmal die von Vogel, Broverman und Klaiber gewählte Methode des Humanexperimentes an.
Daneben könnte aber auch ein entsprechendes Tierexperiment durchgeführt werden. Gerade Tierversuche haben für das Verständnis um die Auswirkungen der Umwelteinflüsse auf die menschliche Verhaltensweise zunehmend an Bedeutung gewonnen. Seit Iwan Petrowitsch Paw-

low das Tierverhalten unter vorgegebenen Bedingungen und die Analyse der diesem Verhalten zugrunde liegenden neurophysiologischen Mechanismen untersucht hatte, wurden insbesondere auf dem Gebiet der Lernvorgänge des Organismus zahlreiche Tierexperimente durchgeführt, die wesentliche Erkenntnisse für das Verständnis von spezifisch menschlichen Verhaltensweisen erbrachten.

Damit scheint die Gewähr dafür gegeben zu sein, dass die von Vogel, Broverman und Klaiber im Humanexperiment erzielten Ergebnisse auch im Tierexperiment nachvollzogen werden können.
Voraussetzung für das hier angestrengte Tierexperiment ist demnach, dass einmal die wesentlichen Faktoren des von Vogel, Broverman und Klaiber durchgeführten Humanexperimentes beibehalten werden können und zum anderen, dass gleichzeitig die Vorteile des Tierexperimentes gegenüber dem Humanexperiment in vollem Umfang ausgenützt werden.

Die Tiere müssen also den Intelligenzfaktor Automatisierfähigkeit aufweisen.
Hierfür bieten sich Albinoratten an, da über sie bereits Untersuchungen über ihr rasches Lernvermögen und über ihre Automatisierfähigkeit vorliegen, so dass frühere Versuchsanordnungen und Ergebnisauslegungen herangezogen werden können.
Darüber hinaus muss bei diesem Versuch eine Möglichkeit der EEG-Ableitung am wachen, frei beweglichen Tier geschaffen werden.
Dazu werden den Tieren Ableitelektroden für das EEG chronisch epidural implantiert. Diese operative Methode, die nur beim Tier gegeben ist, bietet noch den Vorteil der grösseren Genauigkeit gegenüber dem Humanexperiment, in dem das EEG nur von der Kopfhaut abgeleitet werden kann.
Ausserdem müssen ungewohnte Umgebungsreize und Fremdeinflüsse auf die Tiere durch eine genügend lange Vorbereitungszeit, Versuchsdauer und Gewöhnungszeit an Apparaturen und Untersucher weitgehend ausgeschaltet werden. Dabei können die Unzulänglichkeiten des Humanexperiments, die in den verschiedenen Graden von psychischer Belastung und von Umwelteinflüssen sowie in der persönlichen Tagesform liegen, weitgehend vermieden werden.

Ein Tierexperiment ist darüber hinaus nicht nur in der Möglichkeit der EEG-Ableitung objektiver, sondern auch in der Tierauswahl.
Während man beim Menschen schon durch ein Gespräch oder durch die Berufsangabe eine Vorklassifizierung trifft, zeigen sich im Tierexperiment Unterschiede nur in der Art der Aufgabenlösung.

Schwierigkeiten könnten dagegen auftreten, wenn die von Vogel, Brover-

man und Klaiber durchgeführten Messungen der EEG-Parameter Alpha-Frequenz, Beta-Frequenz, Alpha-Index, Beta-Index beibehalten werden müssten, da beim Tier die Hirnströme nicht in so viele Parameter aufgeteilt werden.
Da jedoch Vogel, Broverman und Klaiber als Ergebnis ihrer Untersuchung eine von der Automatisierfähigkeit abhängige Frequenzverlangsamung feststellten, treten diese Schwierigkeiten im Tierexperiment insofern nicht auf, als eine einfache Frequenzverlangsamung auch im Ratten-EEG auswertbar ist.

Die Zielsetzung dieser Arbeit liegt somit im Ausschalten von möglichst vielen, wertmässig nicht erfassbaren Faktoren, um eine weitgehend unbeeinflusste Untersuchung über die Beziehung zwischen EEG und Intelligenz zu erreichen, wobei die von Vogel, Broverman und Klaiber angewandten Versuchsanordnungen auch im Tierexperiment beibehalten werden können.

B. LITERATUR

I. LITERATUR ZUR PROBLEMSTELLUNG

Die von William Vogel und Donald M. Broverman 1964 (44) veröffentlichte Arbeit sollte einen Zusammenhang zwischen EEG und Test-Intelligenz aufweisen. In einem Rückblick auf bis dahin in diesem Zusammenhang erschienene Literatur und eigene Untersuchungen kamen sie zu folgenden Ergebnissen:

"Evidence for the relationship between these 2 variables (EEG and Test-Intelligence) seems strongest for samples of children, institutionalized geriatric patients, mental deficients, and brain-injured persons; and weakest for samples of normal adults. EEG indices seem to be more strongly related to MA than to IQ." 1)

Weiter wiesen sie darauf hin, dass bis zu diesem Zeitpunkt nicht bewusst genug und nicht mit den richtigen Methoden an der Beziehung zwischen elektro-physiologischen Parametern und Intelligenz gearbeitet worden sei.

Die 1968 zusammen mit Klaiber veröffentlichte Untersuchung (EEG and mental abilities) (46) befasst sich ebenfalls mit diesem Problem. Auch in dieser Arbeit kritisieren sie die bisher angewendeten Versuchsmethoden. Sie fordern eine EEG-Abnahme im Zeitraum der geistigen Aktivität und als Bezugspunkt zum EEG nicht einen Index, der aus den zahlreichen Faktoren die die Intelligenz ausmachen, zusammengesetzt ist, sondern eine bestimmte geistige Tätigkeit. Vogel, Broverman und Klaiber wählten in ihrer Untersuchung die Fähigkeit des Automatisierens. Sie betonen weiter, dass es über eine Beziehung zwischen irgendeinem EEG-Phänomen und "Cognitive Style" im allgemeinen oder dem

---

1) William Vogel and Donald M. Broverman: Relationship between EEG and Test-Intelligence. Psychol. Bull. 1964; 2 : 132 ff (132)
Übersetzung:
Die Beziehung zwischen EEG und Test-Intelligenz wird am stärksten am Beispiel von Kindern, geriatischen Patienten, geistig Retardierten und hirngeschädigten Personen sichtbar, dagegen ist sie bei normalen Erwachsenen sehr schwer feststellbar. Die Beziehung der EEG-Zeichen scheint zu Ma (mental age) grösser zu sein als zu IQ (Intelligenzquotient).

"Automatizations Cognitive Style" keine Untersuchung gibt.

Unter "Cognitive Style" verstehen Vogel, Broverman und Klaiber: "commonly occuring patterns of particular mental abilities." 1)

Der "Automatization Cognitive Style" wird definiert als: "greater ability (strong automatization) or lesser ability (weak automatization) to perform simple repetitive tasks than might be expected from the individuals general level of intellectual performance on a battery of heterogeneous tasks." 2)

In ihren Untersuchungen arbeiten sie mit zwei Gruppen normaler, erwachsener, junger Männer, von denen die EEGs während Ruhezeiten und während Zeiten geistiger Anstrengungen abgeleitet werden. Von den EEG-Parametern werten sie folgende Merkmale aus:
langsamer Wellenindex
alpha-Index
alpha-Frequenz
beta-Index
beta-Frequenz.
Sie suchen Zusammenhänge zwischen diesen Messungen und folgenden drei geistigen Aktivitäten:
1) Durchschnittliche geistige Fähigkeit
2) Cognitiver Automatization Style (siehe Seite 9)
3) Durchführung geistiger Arbeiten während der EEG-Aufnahmen.

Folgende wesentliche Ergebnisse wurden erzielt:
" (1) slow waves and slow alpha frequencies were positively associated both with automatization ability and with efficient cognitive performance under conditions of mental effort; 3) and

---

William Vogel, Donald M. Broverman and Edward L. Klaiber. Elektroenceph. clin. Neurophysiol. 168; 24 : 166 ff (174)
Übersetzungen:
1) gewöhnlich auftretende Muster von bestimmten geistigen Fähigkeiten
2) grössere Fähigkeit (gute Automatisation) oder geringere Fähigkeit (schwächere Automatisation) einfache sich wiederholende Aufgaben zu lösen, als von dem allgemeinen Aufgabenlösungsvermögen des Einzelnen, bei einer Reihe von verschiedener Aufgaben erwartet wurde.
3) Vorausgesetzt, dass eine geistige Anstrengung vorliegt sind beide, langsame Wellen und langsame Alpha-Frequenzen mit der Automatisationsfähigkeit und wirksamer geistiger Leistung verbunden; und

(2) Automatization Cognitive Style was inversely related to beta index during periods of mental effort." 1)

Diese Ergebnisse wurden von Vogel, Broverman und Klaiber als Beweis einer stetigen und bedeutsamen Beziehung zwischen geistigen Fähigkeiten und neurophysiologischen Änderungen des EEGs interpretiert.

Die von Vogel, Broverman und Klaiber 1968 veröffentlichte Arbeit (46) wurde bisher in der Literatur nicht weiter besprochen und es sind keine Hinweise vorhanden, dass gleiche Versuche nachvollzogen wurden. Lediglich zu dem bereits genannten Aufsatz aus dem Jahre 1964 (44) nahm Robert J. Ellingson Stellung. In seiner Erwiderung vertritt er folgenden Standpunkt:
"1. The evidence concerning relationship between normal brain wave phenomena and intelligence in children and in mentally retarded is contradictory and inconclusive.
2. The weight of available evidence suggest that there is no relationship in normal adults." 2)

In einer darauf folgenden Veröffentlichung (45) stellen Vogel und Broverman nochmals heraus:
"In fact, our position is that the EEG is related to intelligence in normal adults, but that the nature of the relationship is complex and has tended to be concealed by methodological problems involved in the measurement of intelligence." 3)

---

1) William Vogel, Donald M. Broverman and Edward L. Klaiber. Elektroenceph. clin. Neurophysiol. 1968; 24 / 166 ff (174)
Übersetzung:
2) während der Zeiten geistiger Tätigkeit ist der Automatisation Cognitive Style (siehe Seite 9) umgekehrt proportional dem Beta-Index.

2) Robert J. Ellingson. Relationship between EEG and Test Intelligence: A commentary. Psychol. Bull. 1966, 65/66: 91 ff (93)
Der Beweis, der die Beziehung zwischen den normalen Gehirnwellenphänomenen und Intelligenz bei Kindern und geistig Retardierten betrifft, ist widersprüchlich und nicht überzeugend.
Das Ausmass der verfügbaren Beweismittel lässt vermuten, dass es eine solche Beziehung bei normalen Erwachsenen nicht gibt.

3) William Vogel and Donald Broverman: A reply to "relationship between EEG and test intelligence: a commentary. Psychol. Bull. 1966, 65 : 99 ff (105)
Tatsächlich ist unser Standpunkt, dass man das EEG mit der Intel-

II. LITERATUR ZU ÄHNLICHEN HUMANEXPERIMENTEN

Bisherige Untersuchungen zeigten, dass Amplitude und Frequenz des Alpha-Rhythmus vom Wachzustand des Objekts abhängig sind.
Eine Abnahme der Frequenz bei Schläfrigkeit wurde schon von Berger 1932 beschrieben, wie H. L. Williams u. a. berichten (48). Die Letztgenannten fanden bei ihren Untersuchungen über die Veränderung der Frequenzverteilung bei Schlaflosigkeit ebenfalls eine Verminderung der Frequenz, oder die Entstehung einer bimodalen Frequenz. Bei der Aufgabenlösung war die schnellere 9/sec. Frequenz mit richtiger, die langsamere 6/sec. Frequenz mit fehlerhafter Beantwortung (Auslassungsfehler) verbunden.

Auch Simon u. a. unterstützten in ihrer Arbeit (38) die allgemeine Auffassung, dass eine Abnahme der Alpha-Frequenz in die Richtung von Schläfrigkeit oder gedämpfter Aufmerksamkeit deutet.

Zu dem selben Ergebnis kamen H. Jasper u. a. (18), die bei einem Konditionierungsexperiment mit Menschen, bei langsamem Alpha-Rhythmus der in Delta-Wellen übergeht, ein Versäumen der richtigen Antwort fanden.

Kenneth u. a. (23) untersuchten die Auswirkungen der geistigen Vorstellung (visuell und verbal) auf den Alpha-Rhythmus. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass visuell angewendetes Vorstellungsvermögen mit einer Verminderung des Alpha-Rhythmus in Richtung einer Alpha-Blockade verbunden ist, während das verbale Vorstellungsvermögen keine Einwirkung auf den Alpha-Rhythmus zeigt.
Damit übereinstimmend erwähnen Jasper u. a. (19) Untersuchungen, die gezeigt haben, dass visuelle Aufmerksamkeit wie "der Versuch zu sehen" bereits eine Erniedrigung des Alpha-Rhythmus bewirken.

Umfassender sind die Ergebnisse von Mundy-Castle (31), der den Alpha-Rhythmus mit visuellen Prozessen und mit Aufmerksamkeit oder Wachsamkeit in Verbindung bringt. Er betont, dass bei Aufmerksamkeit wie z. B. bei der Konzentration während Kopfrechnen, aber auch bei visueller Vorstellung eine Alpha-Blockade fehlen kann. Den Ergeb-

---

Fortsetzung der Fussnote 3) von Seite 10
ligenz von normalen Erwachsenen in Verbindung bringen kann, aber dass die Art der Verbindung komplex ist und es mit sich bringt, dass sie von den methodischen Problemen die bei der Messung der Intelligenz auftreten, verdeckt wird.

nissen der Untersuchungen über "auditory, kinesthetic and visuel imagery, mental arithmetic and eye-opening" ordnete er verschiedene Grade der Alpha-Blockade von 0 = keine Änderung im Alpha-Rhythmus bis 3 = vollständige Blockade zu. Dabei findet er, dass "auditory und kinesthetic imagery" bei der Gradeinteilung zu 0 neigen, "eye-opening und visuel imagery zu 3 tendieren, während "mental arithmetic" mittleren Werten entspricht.
In seiner Arbeit bringt er eine Tabelle, die die verschiedenen Ergebnisse, welche bei EEG-Aufzeichnungen während Kopfrechnen gefunden wurden, enthält. Dabei zeigt sich, dass die einzelnen Bearbeiter bei gleicher Aufgabenstellung (Kopfrechnen) folgende verschiedene Änderungen im EEG gefunden haben:
1) Alpha-Blockade
2) Alphoide Rhythmen
3) Kappa-Rhythmus
4. Anwachsen des Theta-Rhythmus
5) Anwachsen des Beta-Rhythmus
6. Abnahme des Beta-Rhythmus
7. Selektive Blockade von einzelnen Alpha-Komponenten.

S. Visser (43) findet bei Konditionierungsreaktionen mit dem Alpha-Rhythmus bei guter "Kontingent" Reaktion eine höhere Alpha-Frequenz, die zwar mit mehrmaligen Wiederholungen geringer wird, aber nicht mehr bis zum unkonditionierten Ausgangswert abfällt.

III. LITERATUR ZU ÄHNLICHEN TIEREXPERIMENTEN

In Tierexperimenten beobachteten F. Klingberg und L. Pickenhain (24) bei Untersuchungen von EEG-Veränderungen an der Ratte während der Ausbildung von bedingten Abwehrreflexen das Auftreten eines langsamen, corticalen 6-8/sec. Rhythmus. Dieser war auf die Zeit kurz vor und während der Ausführung motorischer Akte beschränkt.
Wie sie später (32) ausführten, nahm die Dauer des langsamen Rhythmus auf Reizwiederholungen ab und war schliesslich auf die Reizdauer und auf die konditionierte Reaktion (Springen) beschränkt. Das Hintergrunds-ECG zeigte eine, nach den ersten Reizen leicht angewachsene Desynchronisation, die bis zur Auslöschung bestehen blieb.
In ihrer Arbeit von 1967 (33) beschreiben sie einen langsamen Rhythmus im Ratten-EEG, der bei mehr als 200 Kombinationen von konditio-

nierten und unkonditionierten Reizen verschiedener Art auftrat.

Er taucht im dorsalen Hippocampus auf und wird zum visuellen Cortex übergeleitet. Dieser langsame Rhythmus tritt bei Orientierungsreaktionen auf und bei Reizen, die auf das Tier bereits früher angewendet wurden. Beim gut angepassten motorischen Verhalten sahen sie den "Langsamen Hippocampischen Rhythmus".
Bei der automatisierten, motorischen Tätigkeit, wie z.B. bei der Lösung der Hebelarretierung zur Glucose-Freigabe beobachteten sie ebenso wie Grastyan u.a. (12) keinen "Langsamen Hippocampischen Rhythmus".

Im übrigen erwähnen sie eine Arbeit von J.E. Holmes u.a., die kein Verschwinden "des Langsamen Hippocampischen Rhythmus" in der Zeit des stabilisierten, konditionierten Verhaltens sahen.

F. Morrell u.a. (30) beschrieben, dass im Anfangsstadium des Konditionierens der Reiz (Ton oder Schlag) weit verbreitete Desynchronisation in allen corticalen Zonen hervorrief, während er in späteren Stadien das konditionierte Aktivationsmuster nur noch in visuellen Cortexgebieten fand.
Später führt Morrell (29) genauer aus: "With stimulus repition the diffuse electrographic changes rapidly abate, so that the sound becomes neutral or indifferent with respect to cerebral electrical activity (habituation). Sometimes slow rhythms associated with behavioral drowsiness or sleep appears." 1)
Diese scheinen aber nicht identisch mit dem von Klingberg und Pickenhain auch in der Schrift von 1964 (25) erwähnten Rhythmus zu sein, denn letzterer liegt im Bereich der Theta-Frequenzen und ist fast nur im Zeitraum der bedingtreflektorischen Sprünge zu sehen. Dabei ist sein Auftauchen vorwiegend in den frontalen und parietalen, später in den frontalen und temporalen Ableitungen registriert worden.
Bei Auslöschen der bedingtreflektorischen Sprünge verschwanden auch die von Klingberg und Pickenhain beobachteten langsamen hypersyn-

---

1) Morrell Frank: Elektrophysiological Controbutions to the Neutral Basis of Learning. Physiol. Rev. 1961; 41 : 443 ff (462)
Übersetzung:
Mit Reizwiederholung vermindern sich die weitverbreiteten EEG-Veränderungen rasch, so dass der Ton (Reiz) in Bezug auf die cerebrale, elektrische Aktivität "neutral" oder bedeutungslos wird. Manchmal erscheinen langsame Rhythmen die mit schläfrigem Verhalten oder Schlaf verbunden sind.

chronisierten Rhythmen.

Magoun (27) zeigt in seiner Arbeit u.a., dass einfache akustische Reize auf das EEG erst dann Auswirkungen haben, wenn Lichtreize nachfolgen. Der Alpha-Rhythmus wird im EEG hier anfänglich über dem ganzen Cortex blockiert, bis die Alpha-Blockade auf die occipitale Region begrenzt wird.

John (21) bringt in einer seiner Arbeiten eine Zusammenfassung der bis 1961 erschienenen Arbeiten über den Einfluss des Konditionierens auf das EEG.
Darin vergleicht er 122 Darstellungen, die, aufgeschlüsselt in die verschiedenen Konditionierungsphasen, zu folgenden Ergebnissen kommen:

1) Frühe Konditionierungsphasen:
   a) Durch einen konditionierten Reiz werden generalisierte Corticale Desynchronisation und weitverbreitete "evoked potentiale" hervorgerufen.
   b) Man findet einheitliche Aktivität im visuellen Cortex beim visuellen konditionierten Reiz.
   c) Man findet ein Anwachsen der Amplitude in allen corticalen Feldern.
2) Späte Konditionierungsphase:
   a) Man findet corticale langsame Wellen, oder
   b) Desynchronisation bleibt weiter bestehen.
   c) Übertrainierte Tieren zeigen lokalisierte Weckreaktionen.
   d) Das Auftreten von "driven rhythm" geht zurück,
   e) wird auffälliger, oder
   f) wird lokalisiert.
3) Differenzierung:
   a) Ein negativer Reiz bewirkt corticale Depression, oder
   b) Desynchronisation, oder
   c) corticale, langsame Wellen.

C. MATERIAL UND METHODIK

I. MATERIAL

1. Versuchsobjekte

Für die dieser Arbeit zugrunde liegenden Versuche wurden 40 Albino-Ratten des Sprague-Dawley Stammes verwendet.

Mit einer Ausnahme war keines der Tiere bis jetzt in einem Experiment eingesetzt worden. Um den Einfluss eines Sexualzyklus auszuschliessen, wurden die Versuche nur mit männlichen Tieren ausgeführt. Das einzige experimenterfahrene Tier wurde für den Vorversuch (siehe später) verwendet.

Die Tiere wogen bei Versuchsbeginn alle ca. 180 Gramm und waren etwa gleichaltrig.

Bis zur Implantation der Elektroden wurden die Tiere zu acht in Käfigen gehalten, nach der Elektrodenimplantation nur noch zu viert.

Die Tiere wurden in fünf Gruppen unterteilt und mit verschiedenen Farben gekennzeichnet.

Von den 40 Ratten kamen nur 21 zur Auswertung. 8 Tiere wurden in einem Vorversuch eingesetzt, 4 Tiere starben während oder an Folgen der Operation, fünf Ratten rissen sich den Miniatursockel mit dem implantierten Elektroden heraus und weitere 2 Tiere zeigten ein nicht auswertbares EEG.

2. EEG-Ableitung und Aufzeichnung

Die Ableitung des EEGs erfolgte über 4 epidural implantierte Elektroden. Dafür dienten Silberschräubchen, die den Tieren in folgender Anordnung eingepflanzt wurden:

1) rechts frontal
2) rechts parietal
3) rechts occipital
4) links occipital

(vergleiche Abb.1, S.16)

ANORDNUNG DER IMPLANTIERTEN ELEKTRODEN.

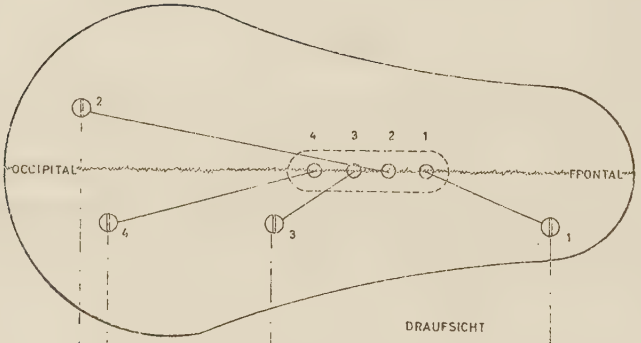


ABBILDUNG 1

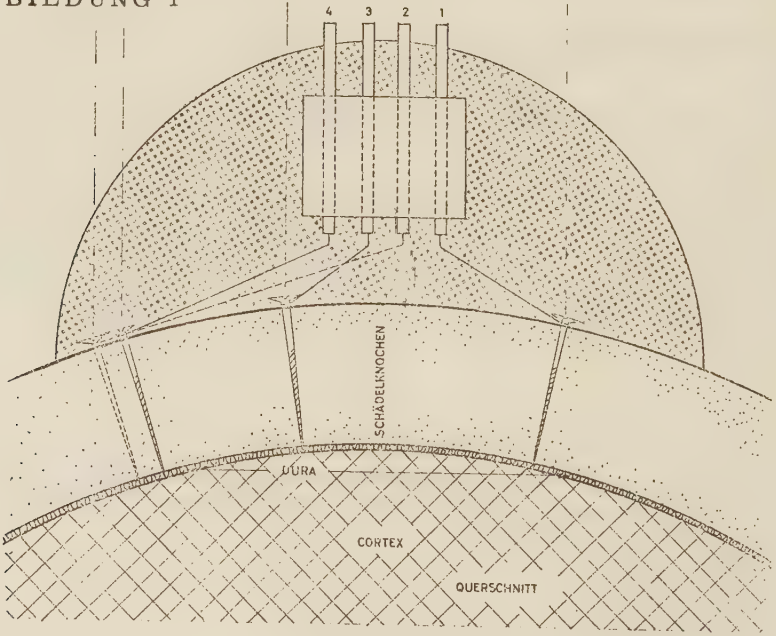


ABBILDUNG 2

Die chronische Implantation der Elektroden dauerte pro Tier etwa eine Stunde. Für diesen Zeitraum wurden die Tiere mit Nembutal narkotisiert.

An die Silberschräubchen wurde ein Silberdraht als Ableitdraht angelötet, der in einem vierpoligen Miniatursockel in Steckkontakten mündete, über die das EEG abgenommen wurde (siehe Abb. 1-3, S. 16 + 18). Abgeleitet wurde von den Elektroden 2 und 4. Die implantierten Elektroden und die Miniatursockel wurden mit Paladur am Schädelknochen fixiert (vergleiche Abb. 2, S. 16).

Diese Ableitungsvorrichtung wurde durch ein leichtes Kabel nahezu induktionsfrei mit einem EEG-Schreiber verbunden, der die bioelektrischen Potentialschwankungen registrierte (vergleiche Abb. 3, S. 18).

Das selbst hergestellte Kabel hing an einer dünnen Spiralfeder, die bei Bewegungen des Tieres Kabellänge freigab und wieder zurückzog. Es traten kaum Bewegungsartefakte auf.

3. Apparaturen

An Apparaturen wurde neben dem EEG-Schreiber eine Skinnerbox mit Summer und ein Mehrkanalereignisschreiber verwendet.

Der Mehrkanalereignisschreiber wurde an die Skinnerbox angeschlossen und registrierte:

a) das Drücken auf die Taste in der Skinnerbox. (a = waagrechter Strich in folgenden Aufzeichnungen).
b) zu schwache und zur falschen Zeit erfolgte Betätigung der Taste. (b = kleiner Haken ohne waagrechten Strich.)
c) Dauer des akustischen Signals des Summers in der Box. (c = Aussparungen des linken senkrechten Strichs in den Aufzeichnungen der Versuchsgruppe I).
d) die Zeitspanne während der die Tiere durch Betätigung der Taste den Futterarm aus der Arretierung lösen konnten. (d = Aussparungen des rechten senkrechten Strichs in den Aufzeichnungen der Versuchsgruppe I.)

Die Aufzeichnungen erfolgten auf einer sich stets mit gleicher Geschwindigkeit langsam drehenden Blattrolle.
Durch jede Betätigung des Tasters wurde der Zeiger des Mehrkanalereignisschreibers auf einer Schiene um ungefähr einen Millimeter

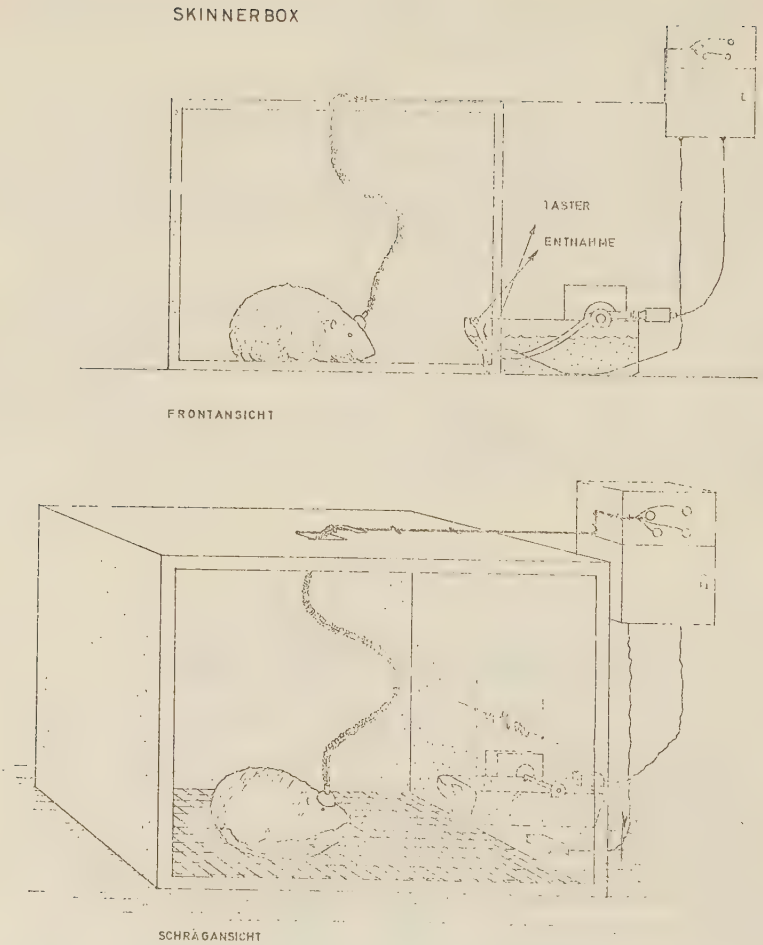


ABBILDUNG 3

nach links verrückt, bis er, am linken Blattrand angekommen, wieder selbständig zum rechten Blattrand übersprang. Der Mehrkanalereignisschreiber lieferte demgemäss folgende Aufzeichnungen, die von unten nach oben zu lesen sind (siehe Abbildungen 5-8, SS. 20-24).

II. METHODIK

Die für die Bearbeitung ausgewhälte Versuchsmethode entspricht den üblichen Konditionierungsmethoden, wie sie z. B. von D. Hothersall (17) und J. Schoonard u. a. (37) beschrieben werden.

Bei Versuchsablauf lassen sich drei Abschnitte feststellen.

1. Vorversuch

Im Vorversuch wurden die günstigsten Bedingungen für das instrumentelle Konditionieren einer automatisierbaren Reaktion gesucht. Als Versuchsobjekte dienten dafür 8 nicht operierte Ratten, die in 2 Gruppen eingesetzt wurden.

Der Vorversuch ergab, dass einem akustischen Signal der Vorzug vor einem optischen Signal zu geben war, da die Tiere unter den gegebenen Umweltbedingungen dem akustischen Signal mehr Aufmerksamkeit schenkten.

Ausserdem wurde hier mit Glaser (11) davon ausgegangen, dass für primitive Lebewesen jeder kurzdauernde, visuelle Impuls schnelle Bewegung bedeutet, die für das Tier meist ein Anzeichen für Gefahr ist. Eine Reaktion auf eine Vorstellung von Gefahr wäre für die vorliegende Versuchsanordnung nicht geeignet gewesen.

Als geeignete Bekräftigung zur Ausbildung des Nahrungsreflexes wurde den Tieren zuerst gezuckerte Milch geboten, die aber später durch nahezu gesättigte Glucoselösung ersetzt wurde. Während des Vorversuchs hatte sich nämlich herausgestellt, dass diese ebenso gerne genommen wird und sauberer zu handhaben ist.

ABBILDUNG 4

A: Versuchsgruppe II

a) Jeder der kurzen, kleinen, waagrechten Striche mit Häkchen bedeutet ein Drücken auf die Taste in der Skinnerbox (s. S.17)

b) Die wenigen einzelnen Häkchen bedeuten zu schwache und zur falschen Zeit erfolgte Betätigung der Taste (z.B. zwei im unteren Drittel) (s. S.17).

ABBILDUNG 5

B: Versuchsgruppe I
(Konditionierungsversuch). Übergang vom einfachen Versuch zum Konditionieren (von AG zu CD nach Schema, Tab. 3)

a: + b: siehe vorhergehende Aufzeichnung

c: linker senkrechter Strich, Aussparung = Dauer des akustischen Signals

d: rechter Strich, Aussparung = Dauer der Lösung der Hebelarretierung.

ABBILDUNG 6

B: Versuchsgruppe I
(Konditionierungsversuch mit Lernhilfe), siehe S. 30-31

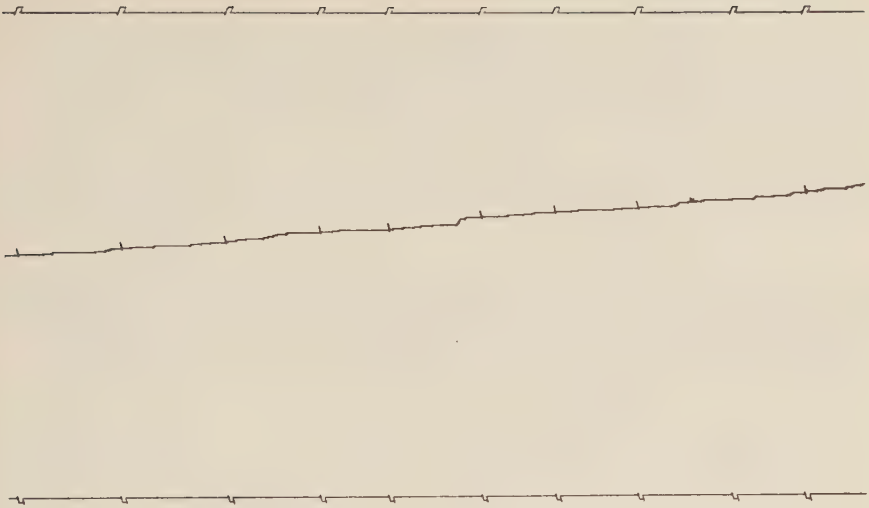


ABBILDUNG 7

B: Versuchsgruppe I
(Konditionierung ohne Lernhilfen)

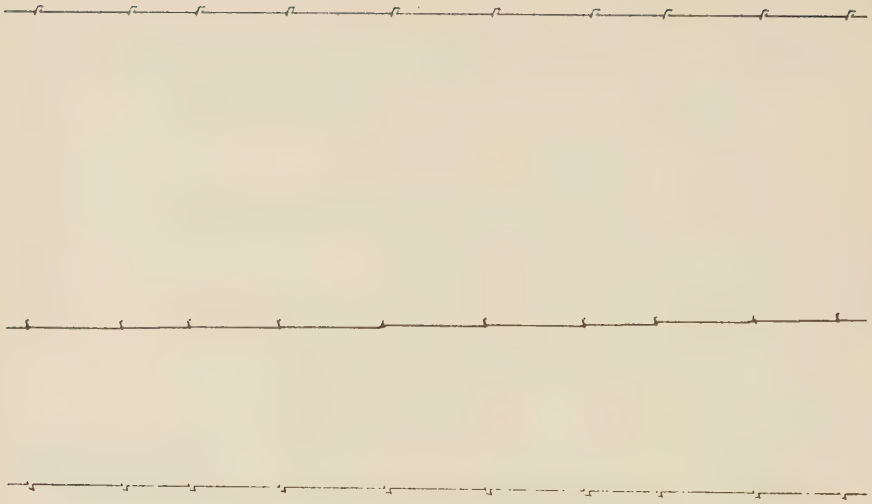


ABBILDUNG 8

B: Versuchsgruppe I
(nach abgeschlossener Automatisation)

2. Vorbereitung der Tiere auf den Hauptversuch

Für den Hauptversuch wurden 4 Tiergruppen verwendet.
Den Tieren wurde nach der Operation eine Erholungspause von 7 Tagen gegeben. Nach diesem Zeitraum war die Wundheilung abgeschlossen, so dass daraus keine Artefakte entstehen konnten.
Vom siebten Tag nach der Operation an wurden die Futterzeiten der Tiere umgestellt. Sie erhielten täglich nur noch für eine Stunde und zwar im Anschluss an den Versuch, freien Zutritt zu Futter und Wasser.
Die Tiere lernten es sehr rasch, ihren Nahrungsbedarf in dieser 1 Stunde zu decken, so dass nach anfänglichen Gewichtsverlusten im Wesentlichen keine weiteren Abmagerungen mehr auftraten. In den meisten Fällen wurden die Gewichtsverluste sehr schnell wieder ausgeglichen und das Ausgangsgewicht sogar übertroffen.

Das Verhältnis von Gewichtsab- und -zunahme zeigt Tabell 1, die die genauen Gewichtsvergleiche einer Versuchsgruppe wiedergibt.

TABELLE 1

Gewichtsvergleiche in Gramm

Tier	Ausgangsgewicht	umgestellter Nahrungsrhythmus			
		1. Tag	4. Tag	8. Tag	12. Tag
1	180	175	170	185	190
2	195	180	175	190	205
3	195	185	180	195	205
4	195	195	180	200	210
5	180	180	160	170	180
6	185	175	170	185	x
7	180	170	165	185	195

x = getötet, da Sockel mit Elektrodenstecker abgerissen war.

Während der ganzen Versuchsdauer wurde die oben beschriebene Ernährungsweise beibehalten. Lediglich in einem späteren Versuchsstadium erhielten 2 Tiergruppen vor dem Versuch 24 Stunden freien Zutritt zu Futter und Wasser, um die Nahrungserregbarkeit während des Konditionierens herabzusetzen.

Nach der 7-tägigen Ruhepause wurden die Tiere an den beiden nächsten Tagen einzeln jeweils für 1 Stunde in die Versuchskammer gegeben. Sie sollten sich mit der Skinnerbox vertraut machen, ohne zusätzlichen Reizen ausgesetzt zu sein.

3. Hauptversuch

Am 10. Tag nach der Elektrodenimplantation konnte mit dem eigentlichen Versuch und den EEG-Aufzeichnungen begonnen werden. Während jeder Versuchsstunde wurde von jedem Tier insgesamt für 9 Minuten das EEG abgenommen:
a) 3 Minuten zu Beginn
b) 3 Minuten nach dem halben Zeitablauf, und
c) 3 Minuten zum Ende der täglichen Lernphase.

Die Versuchsgruppe I und II lernten den Hebel in der Skinnerbox zu drücken, um damit die Freigabe eines Glucosetropfens auf einem vom Hebel 10 cm entfernten Arm auszulösen (siehe Abb. 3, S. 18). Sie mussten dann zu diesem Futterarm laufen und den Tropfen aufnehmen.

Diesen Handlungsablauf sollten sie so oft wie möglich wiederholen. Die Tätigkeit der I. Versuchsgruppe wurde dann mit einem elektromechanischen Zeitgeber auf ein akustisches Signal programmiert. Dafür wurde der Summer in der Skinnerbox mit einer Programmschablone, die aus Filmstreifen bestand, verbunden. In den Filmstreifen wurden in verschiedenen, zufällig erwürfelten Abständen sieben gleichgrosse Löcher gestanzt, die einem Summton von 9/sec. Dauer entsprachen. Ein gleicher Zeitgeber wurde mit der Arretierung des Hebels in der Skinnerbox verbunden. Mit den Schablonen wurde bewirkt, dass die Tiere durch das Betätigen des Hebels die Glucoseausgabe nur noch erreichen konnten solange das akustische Signal ertönte.
Die 7 ausgestanzten Löcher bewirkten einen Summton (Schablone 1) bzw. eine Lösung der Hebelarretierung (Schablone 2) für jeweils 9 sec.

Das Programm lief 3,6 mal pro Tier während des täglichen Konditionierens ab.
Die Abstände für die Signale des elektromechanischen Zeitgebers (Summton und Lösung der Hebelarretierung) können aus Tabelle 2 entnommen werden. Ein allgemeines Lernschema für die Versuchsgruppe I und II zeigt Tabelle 3.

TABELLE 2

Elektromechanischer Zeitgeber für die Versuchsgruppe I

A:	Dauer des Summtons bzw. der Lösung der Hebelarretierung 9 sec.
B_1:	zeitliche Abstände der Signale für die Versuchsgruppe I (hierbei erfolgt die Lösung der Hebelarretierung synchron mit dem akustischen Signal) 2 min. 30 sec. 2 min. 45 sec. 2 min. 10 sec. 1 min. 30 sec. 1 min. 55 sec. 2 min. 40 sec. 2 min. 05 sec.
B_2:	zeitliche Abstände der Signale für die Kontrollgruppe I (hierbei erfolgt die Lösung der Hebelarretierung unabhängig vom akustischen Signal)

Summer	Hebelarretierung
0 min. 55 sec.	1 min. 14 sec.
2 min. 12 sec.	0 min. 49 sec.
1 min. 00 sec.	2 min. 20 sec.
1 min. 18 sec.	3 min. 15 sec.
2 min. 50 sec.	0 min. 54 sec.
1 min. 25 sec.	2 min. 01 sec.
2 min. 10 sec.	1 min. 26 sec.
1 min. 32 sec.	1 min. 00 sec.

TABELLE 3

Lernschema

A:	=	Drücken der Taste
B:	=	Aufnahme des Glucosetropfens, dessen Freigabe durch A bewirkt wurde
C:	=	Drücken der Taste nur während des akustischen Signals, da sonst der Hebelarm arretiert ist
D:	=	Aufnahme des Glucosetropfens, dessen Freigabe durch C erzielt wurde

A + B = einfacher bedingter Nahrungsreflex
C + D = verstärkter bedingter Nahrungsreflex

	Versuchsgruppe I	Versuchsgruppe II
A	+	+
B	+	+
C	+	0
D	+	0

Der oben (S. 17) beschriebene Mehrkanalereignisschreiber zeichnete den Ablauf der Schablonen und das Betätigen des Hebels auf.

Den Versuchsgruppen I und II, die jeden Tag den gleichen Zeit- und Lernbedingungen unterlagen, wurden die Kontrollgruppen I und II gegenübergestellt. Sie dienten als Pseudokonditionierungsgruppen.

Die Kontrollgruppe II entsprach der II. Versuchsgruppe.
Sie wurde unter den gleichen Bedingungen und ebenso lange in der Skinnerbox gehalten. Da ihr keinerlei Lernhilfen gegeben wurden, erlernte sie nicht wie die Versuchsgruppe II den einfachen automatisierten Versuch.
Die Kontrollgruppe I entsprach der Versuchsgruppe I. An ihr sollten die Auswirkungen der fremden Reize auf das EEG festgehalten werden. Für diese Gruppe wurden 2 neue Schablonen zusammengestellt, deren Intervalle untereinander noch variiert wurden (siehe Tab. 2). Damit traf das akustische Signal nie mit der Lösung der Arretierung zusammen.
So konnte auch eine Zufallskonditionierung ausgeschlossen werden.

Nach Abschluss der EEG-Ableitungen wurden die EEG-Aufzeichnungen ausgewertet. Da nach Vogel u.a. (46) eine Alpha-Frequenz-Verlangsamung erwartet wurde, war es ausreichend, die Frequenzen der Ratten-EEGs auszuzählen.
Von jedem Tier war am Anfang, in der Mitte und am Ende jeder Stunde je 3 Minuten lang das EEG abgenommen worden. Dabei war darauf geachtet worden, dass die Abnahme immer zur genau gleichen Zeit erfolgte. Um kurzdauernde Frequenzschwankungen, die auf einem Artefakt oder auf äusseren Einflüssen wie Erschrecken basieren könnten, auszuschliessen, wurde für jedes Tier insgesamt pro Lernstunde 3 Minuten ausgezählt. Dabei kamen jeweils 1 Minute aus der EEG-Abnahme zu Beginn, eine Minute aus den Aufzeichnungen während der Stundenmitte und 1 Minute aus den Aufzeichnungen vom Stundenende zur Auswertung.
Die durch die Art der Auszählung entstandenen Kommazahlen (Umrechnung der Werte von Minuten auf Sekunden) wurden je nach Wert auf volle Zahlen auf- oder abgerundet.

D. VERSUCHSVERLAUF

Bei dem ersten Einsetzen in die Skinnerbox zeigten die Tiere ausgeprägte Orientierungsreaktionen. Sie beschnupperten die Wände und die Decke des Versuchskäfigs ebenso wie den Gitterboden und die vorne angebrachte Glasscheibe. Beobachtung schenkten fast alle Tiere auch dem Futterarm, in dem anfangs jeweils ein Glucosetropfen lag. Dieser Tropfen wurde von allen Tieren, die ihn entdeckt hatten, nach längerem Zögern aufgenommen.

Die Orientierungsreaktionen waren am ersten Tag ungefähr eine halbe Stunde lang zu beobachten. Sie wurden nur von Komfortbewegungen unterbrochen. Später legten sich die Tiere ruhig nieder, wobei fast alle die hintere, linke Ecke bevorzugten.
Die Orientierungsreaktionen waren auch am 2. Tag noch lebhaft, aber von kürzerer Dauer.
Am nächsten Tag waren sie bei kürzerer Dauer ausgeprägter. Das ist darauf zurückzuführen, dass an diesem Tag die EEG-Abnahme begann und damit auf die implantierten Elektroden der Stecker aufgesetzt werden musste, was Unruhe brachte.

Beim Lernversuch wurden die Versuchstiere anfangs alle unterstützt (Guiding). Dazu benützte man einen Handschuh, auf den etwas Glucose getropft wurde. Die Tiere leckten davon sehr schnell die Glucose ab. Wenn man während dieser Zeit den Finger zum Hebel zurück zog, folgten die Tiere nach. Inzwischen war auch der Hebel mit zäher Glucose bestrichen worden, die von den Tieren abgekratzt wurde. Dabei drückten sie oft unabsichtlich den Hebel. In diesem Fall wurden sie zu dem glucosegefüllten Futterarm geführt, aus dem sie den Glucosetropfen leckten. Die Tiere wurden dann wieder zum neuerlich mit Glucose bestrichenen Hebel zurückgebracht, den sie wieder abkratzten.
Dieses Guiding erfolgte solange, bis der motorisch bedingte Nahrungsreflex ausgearbeitet war.

Bei 2 Tieren war der einfache bedingte Reflex sofort gefestigt, bei den übrigen Tieren dauerte es bis zur Automatisation des einfachen Versuchsvorganges 2 bis 7 Tage (siehe Tabelle 4, S. 31).

Im Anschluss an die Automatisation des einfachen Nahrungsreflexes wurde bei jedem Tier der Versuchsgruppe I mit der Konditionierung begonnen.

Dabei benutzte man anfangs noch nicht die oben (S. 28) beschriebenen

TABELLE 4

Zeitpunkt der Automatisation des einfachen bedingten Nahrungsreflexes

am 1. Tag:	2 Tiere
am 2. Tag:	kein Tier
am 3. Tag:	1 Tier
am 4. Tag:	3 Tiere
am 5. Tag:	2 Tiere
am 6. Tag:	2 Tiere
am 7. Tag:	1 Tier

Schablonen, sondern betätigte das akustische Signal und die parallel geschaltete Lösung der Arretierung des Futterarms mit Hand. Auf diese Weise konnte man den Tieren noch einmal Lernhilfen geben. Damit konnte man die Dauer des Summtones verlängern und ihn in günstigen Augenblicken, d.h. wenn ein Tier sich nahe am Hebel aufhielt, einschalten.

Nach spätestens 2 Tagen hatten die Tiere den Zusammenhang zwischen Summer und Hebel erkannt und sie wurden weiter nur noch mit den Programmschablonen differenziert. In dieser Phase der Festigung des verstärkten bedingten Reflexes erhielten die Tiere einmal 24 Stunden lang zu fressen, um ihre Nahrungserregbarkeit herabzusetzen.

Der Zeitpunkt der Automatisation des verstärkten bedingten Reflexes konnte gut am Mehrkanalereignisschreiber abgelesen werden.

Wenn der Handlungsablauf von den Tieren soweit beherrscht wurde, dass er automatisiert war (siehe Tabelle 5), hielten sich die Versuchstiere der Gruppe I vorwiegend in der Nähe des Hebels auf, drückten ihn, sobald das Signal ertönte und rannten dann zum Glucosetropfen auf dem Futterarm. Dabei kam es manchmal vor, dass der Hebel zu leicht gedrückt wurde und der Futterarm deshalb nicht in die Glucoselösung eingetaucht wurde. Das Tier fand dann keinen Glucosetropfen vor.

In diesen Fällen konnte es während des folgenden akustischen Signals zu einem 2-maligen Betätigen des Hebels kommen. Dieses konnte sonst nur sehr selten beobachtet werden.

Die Tiere der Versuchsgruppe II rannten nach Automatisation des einfachen bedingten Reflexes zwischen Hebel, den sie betätigten und Fut-

TABELLE 5

Zeitpunkt der Automatisation des verstärkten bedingten Reflexes

Tier 1	am 11. Tag nach Versuchsbeginn
Tier 2	am 9. Tag nach Versuchsbeginn
Tier 3	am 12. Tag nach Versuchsbeginn
Tier 4	am 10. Tag nach Versuchsbeginn
Tier 5	am 12. Tag nach Versuchsbeginn
Tier 6	am 10. Tag nach Versuchsbeginn

Rechnet man den Zeitraum nicht vom Versuchsbeginn an, sondern von dem, für jedes Tier individuellen Zeitpunkt des Erlernens des conditionierten Reizes, so entspricht das:

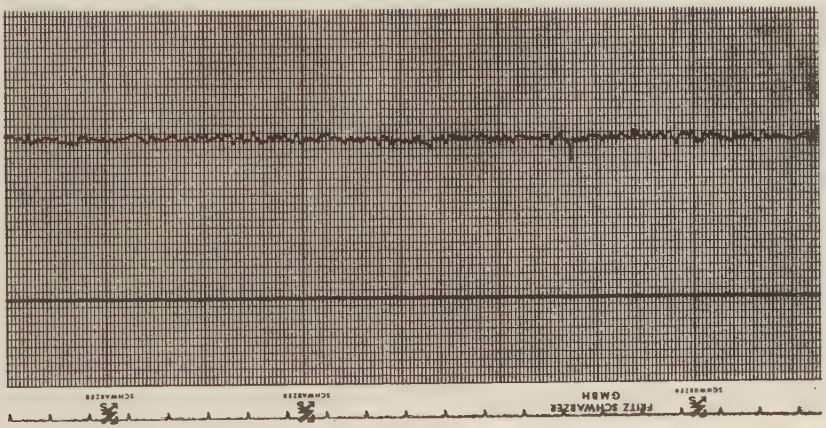
Bei	Tier 1	dem 7. Tag nach Automatisation des einf. bed. Reflexes
Bei	Tier 2	dem 8. Tag nach Automatisation des einf. bed. Reflexes
Bei	Tier 3	dem 5. Tag nach Automatisation des einf. bed. Reflexes
Bei	Tier 4	dem 7. Tag nach Automatisation des einf. bed. Reflexes
Bei	Tier 5	dem 7. Tag nach Automatisation des einf. bed. Reflexes
Bei	Tier 6	dem 9. Tag nach Automatisation des einf. bed. Reflexes

terarm hin und her, wobei sie ständig den Glucosetropfen aufnahmen, bis sie sich ermüdet in ihre Ecke zurückzogen.

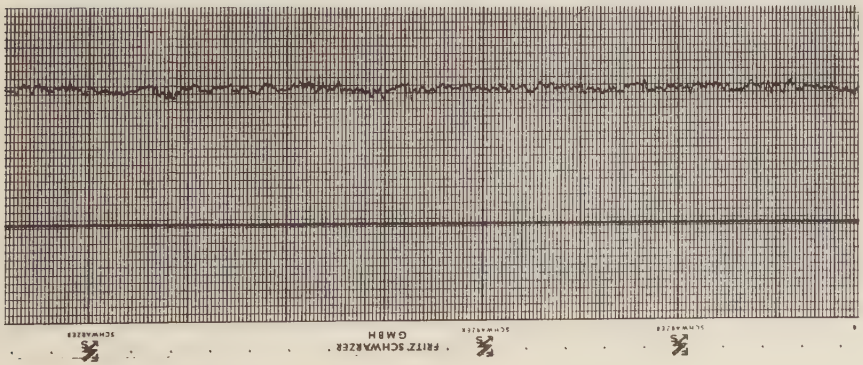
Von den Tieren der Kontrollgruppen, die keine zusätzliche Hilfen erhielten, lernte keines den einfachen Versuch. Eine Zufallskonditionierung war durch die Versuchsanordnung schon ausgeschlossen worden.

Die Tiere zeigten die gleichen Orientierungsreaktionen wie die Versuchsgruppen, nur die Komfortbewegungen waren bei ihnen von längerer Dauer. Sie benutzten einen grossen Teil der Stunde zum Schlafen und die Kontrollgruppe I schien auch durch das akustische Signal nicht sehr gestört zu sein. Anfänglich löste der Summton Orientierungsreaktionen aus, aber ungefähr ab dem 10. Signal war keine sichtbare Reaktion mehr festzustellen.

EEG-Aufzeichnungen als Beispiel für die Ergebnisse der Versuchsgruppe I (vergl. S.43, Tier 5, mittlere Frequenz 6/sec.)

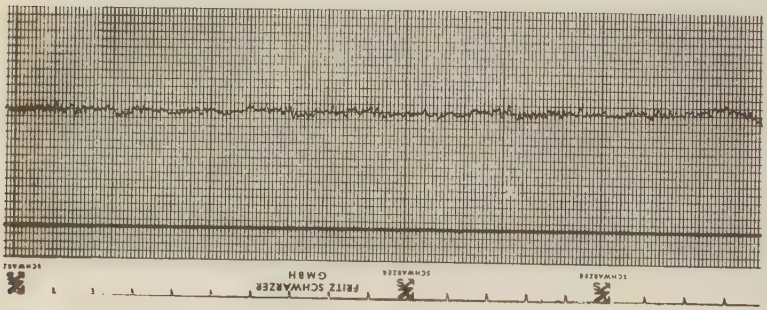


1. Tag

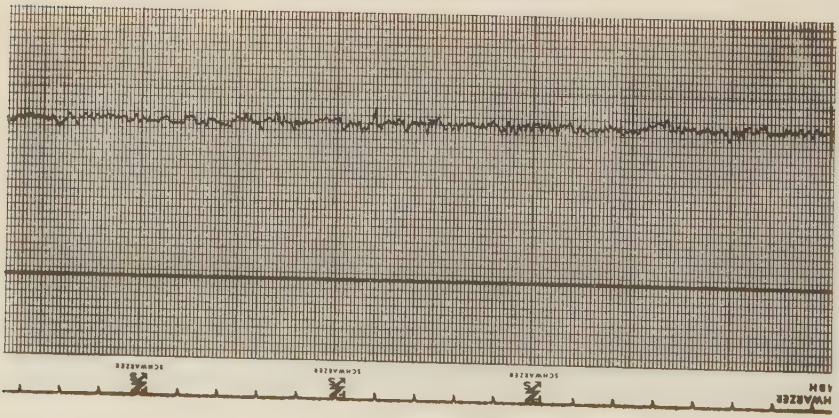


2. Tag

EEG-Aufzeichnungen der Versuchsgruppe I

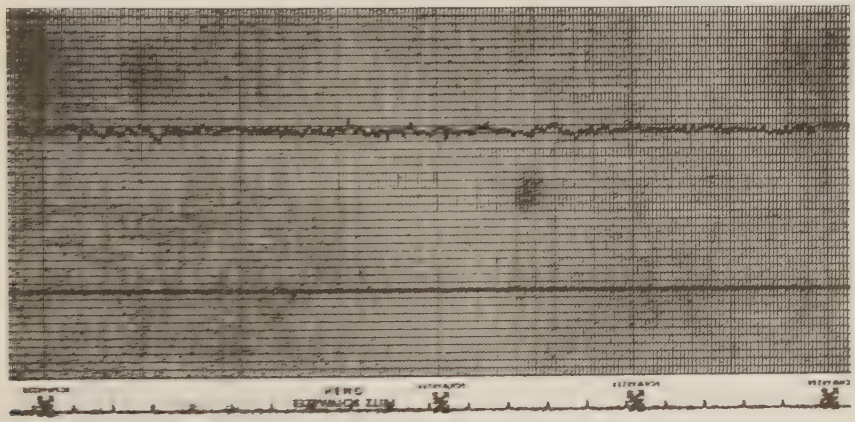


3. Tag

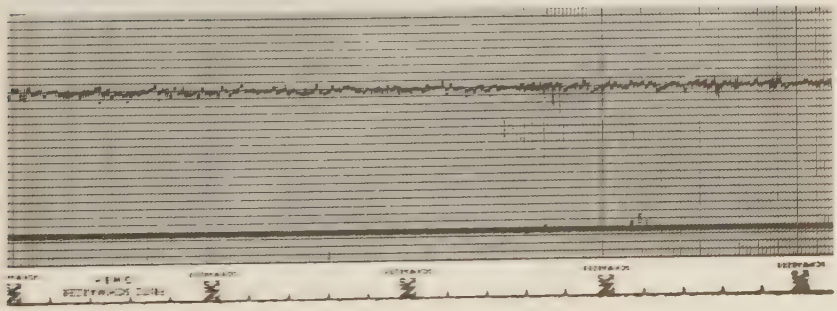


10. Tag

EEG-Aufzeichnungen der Versuchsgruppe I

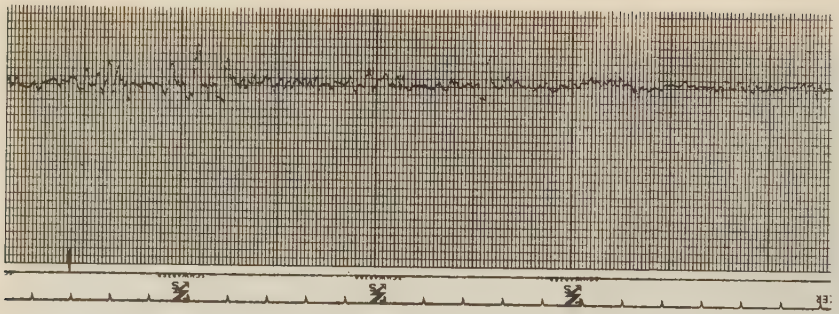


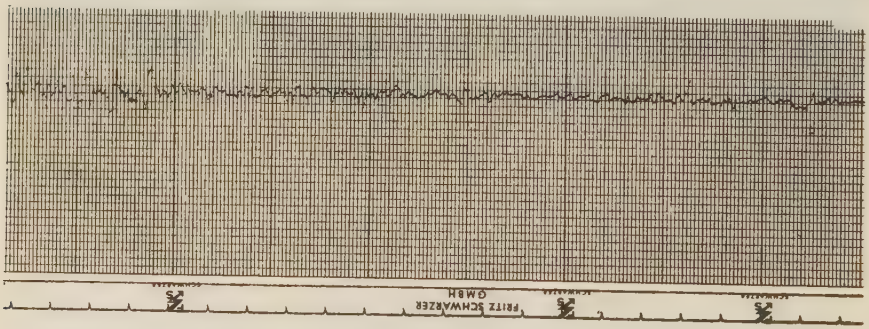
11. Tag



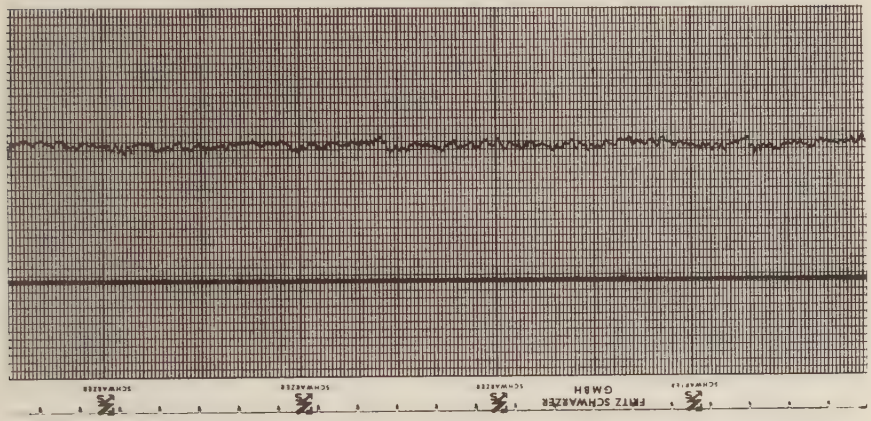
11. Tag

EEG-Aufzeichnungen der Kontrollgruppe I

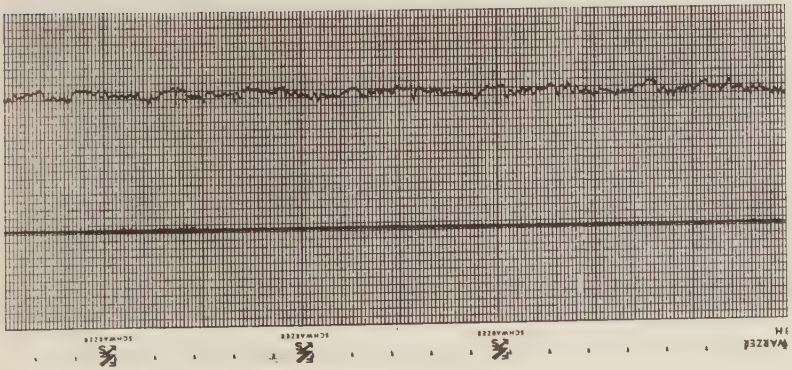




EEG-Aufzeichnungen als Beispiel für die Ergebnisse der Versuchsgruppe II (vergl. S.44, Tier 5, mittlere Frequenz 5/sec.)

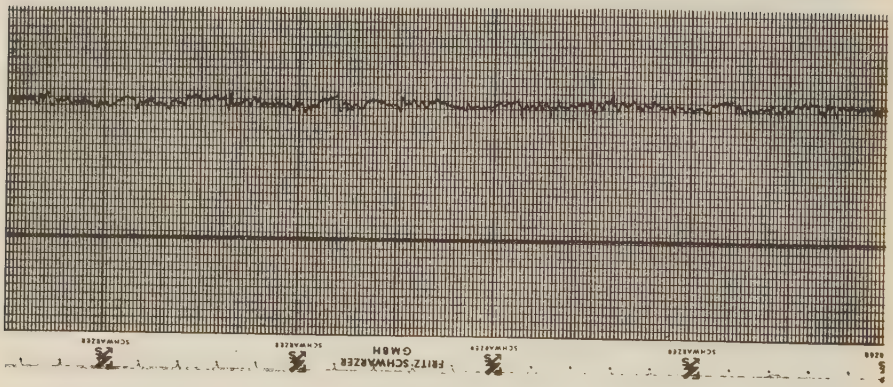


1. Tag

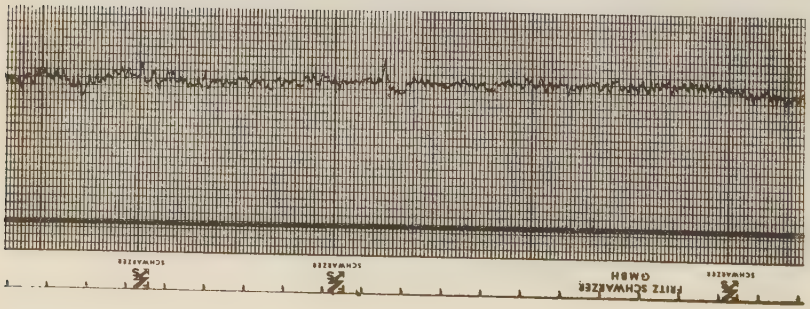


2. Tag

EEG-Aufzeichnungen der Versuchsgruppe II

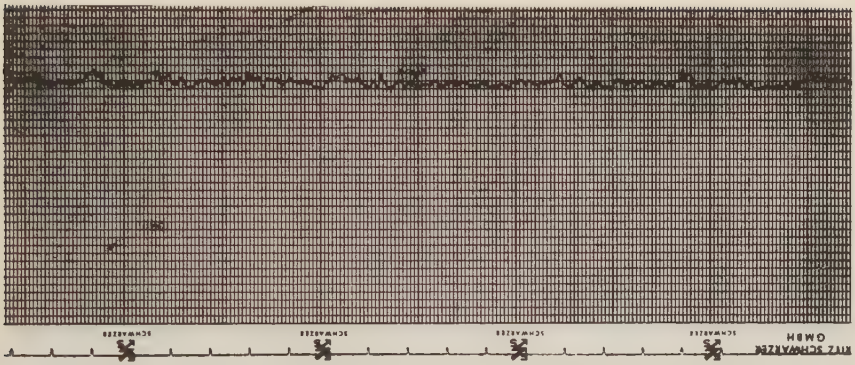


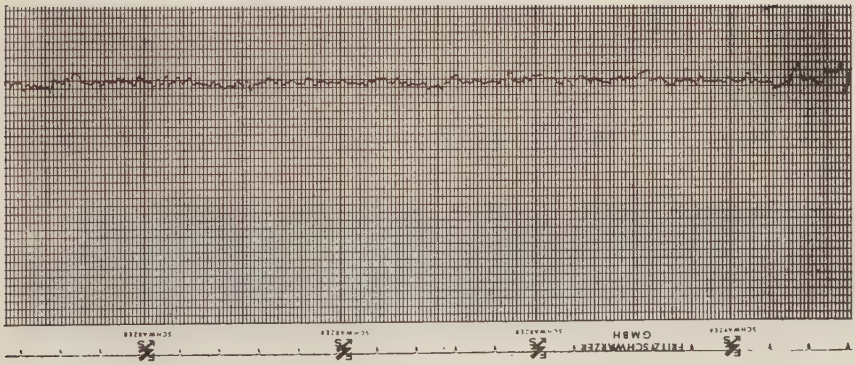
3. Tag



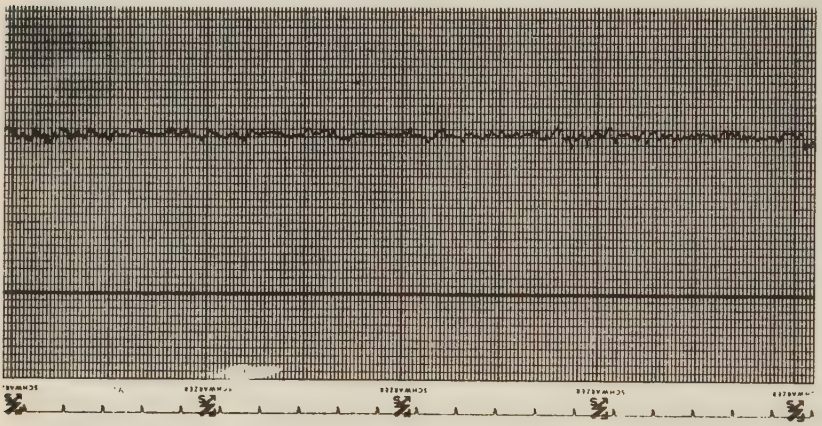
7. Tag

EEG-Aufzeichnungen der Kontrollgruppe II

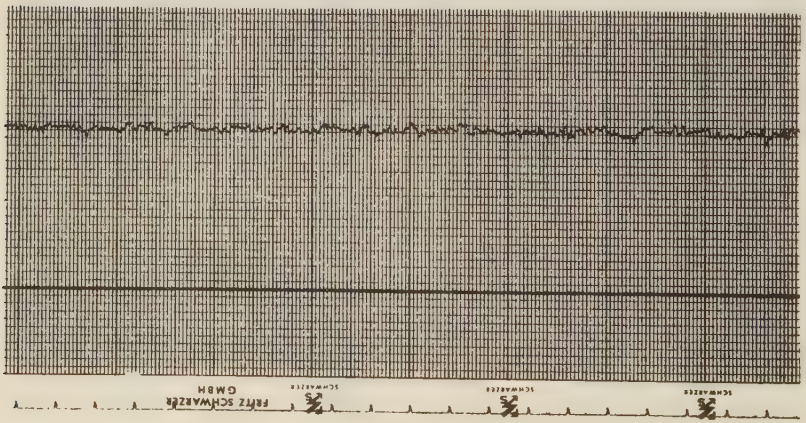




EEG-Aufzeichnungen zu Tabelle 8 Versuchsgruppe I (Tier 6)

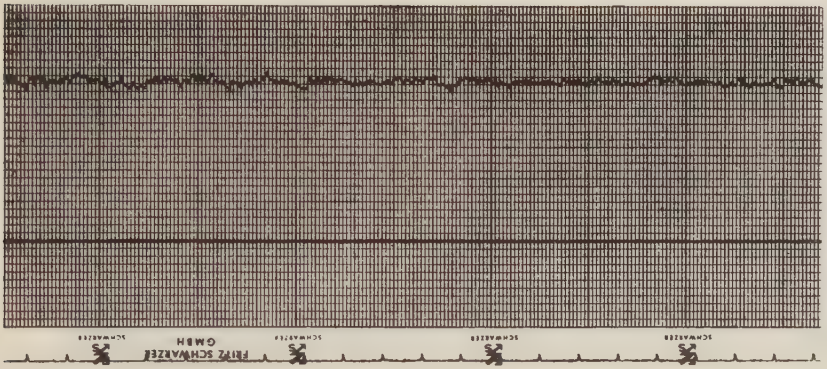


Stundenanfang



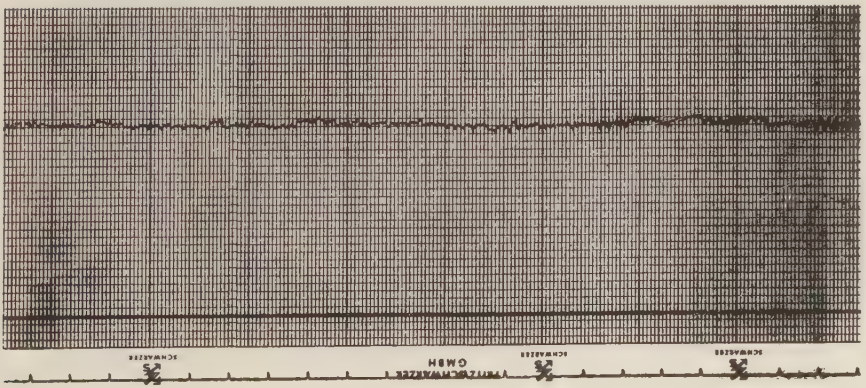
Stundenmitte

EEG-Aufzeichnungen zu Tabelle 8 Versuchsgruppe I (Tier 6)



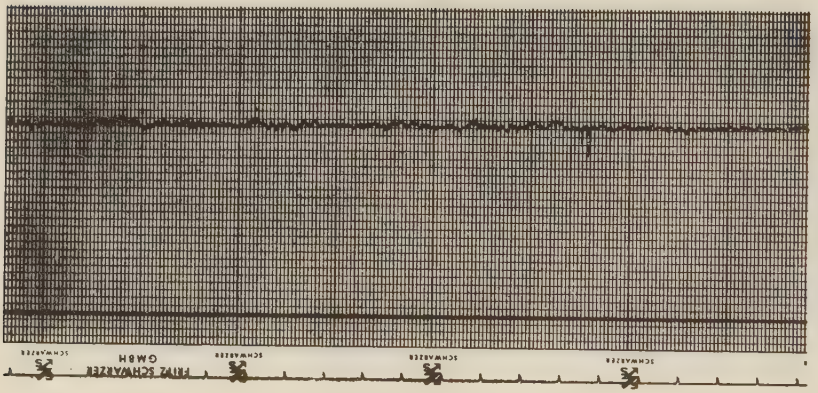
Stundenende

EEG-Aufzeichnungen zu Tabell 8 Versuchsgruppe II (Tier 2)

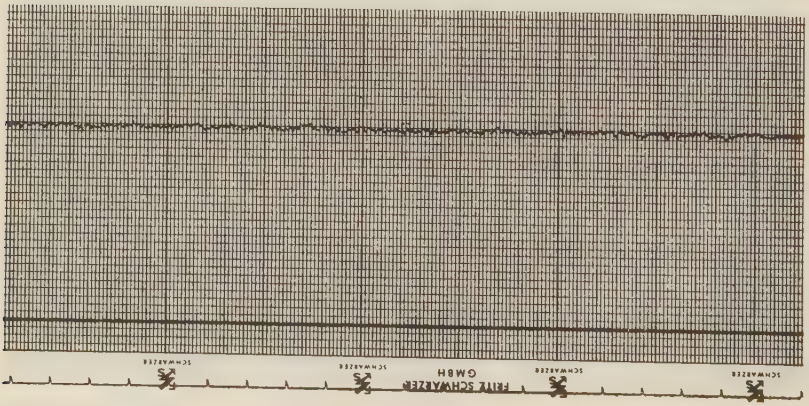


Stundenanfang

EEG-Aufzeichnungen zu Tabelle 8 Versuchsgruppe II (Tier 2)



Stundenmitte



Stundenende

E. EIGENE ERGEBNISSE

Die mittleren Frequenzen der Versuchsgruppe I lagen zwischen 4-6/sec., die mittleren Frequenzen der Versuchsgruppe II lagen zwischen 5-8/sec.

Wie sich aus den folgenden Tabellen (6, 7, 8, 9) ergibt, zeigte sich bei dem hier durchgeführten Versuch keine Frequenzverlangsamung. Die beim Auszählen registrierten Schwankungen waren so gering, dass sie sich fast nur in den Zahlen hinter dem Komma zeigten, die normalerweise unberücksichtigt bleiben.
Auch Veränderungen bei den drei EEG-Aufzeichnungen von ein und demselben Tier aus jener Versuchsstunde, in der der Handlungsablauf von den Tieren ohne Lernhilfe erstmals gelernt und fehlerfrei ausgeführt wurde, konnten nicht festgestellt werden (vergleiche Tabelle 8).

Die Frequenzen der Kontrollgruppen lagen zwischen 2-6/sec. und unterschieden sich nicht untereinander. Die geringe Verlangsamung im Vergleich zu den Versuchsgruppen dürfte mit den häufig aufgetretenen Schlafspindeln (2-5/sec.) zusammenhängen.

TABELLE 6

Ergebnisse der Versuchsgruppe I

Tage:	mittlere Frequenz pro sec. der Tiere 1 - 6					
	Tier 1	Tier 2	Tier 3	Tier 4	Tier 5	Tier 6
1. Tag	5	4*	6	5	6	6*
2. Tag	5	4	6	5	6	6
3. Tag	5	4	6	5*	6	6
4. Tag	5*	4	6	5	6	6
5. Tag	5	4	6	5	6*	6
6. Tag	5	4	6	5	6	6
7. Tag	5	4	6*	5	6	6
8. Tag	5	4	6	5	6	6
9. Tag	5	4+	7	5	6	6
10. Tag	5	4	6	5+	6	6+
11. Tag	5+	4	6	5	6	6
12. Tag	5	4	6+	5	6+	6

* = Automatisation des einfachen Reflexes (A + B, siehe Tabelle 3)
+ = Automatisation des verstärkten Reflexes (C + D, siehe Tabelle 3)
(vergleiche auch folgende EEG-Aufzeichnungen)

TABELLE 7

Ergebnisse der Versuchsgruppe II

Tage:	mittlere Frequenz pro sec. der Tiere 1 - 5				
	Tier 1	Tier 2	Tier 3	Tier 4	Tier 5
1. Tag	8	6	7	5	5
2. Tag	7	6	7	5	5
3. Tag	8	6	6	5	5
4. Tag	8^{+}	6	6	5	5^{+}
5. Tag	8	6	6^{+}	5	5
6. Tag	8	6^{+}	6	5^{+}	5
7. Tag	8	6	6	5	5

$^{+}$ = Automatisation des einfachen Reflexes (A + B, siehe Tabelle 3)

TABELLE 8

Frequenz-Vergleich der Gruppe I aus der Stunde in der der Handlungsablauf gelernt und ohne Hilfe erstmals fehlerfrei ausgeführt wurde

Versuchsgruppe I: Werte vom Anfang, von der Mitte und vom Ende der Versuchsstunde

	Anfang	Mitte	Ende
1. Tier	5,1	4,8	4,7
2. Tier	4,4	4,3	4,5
3. Tier	6,0	6,0	6,2
4. Tier	5,2	4,8	5,5
5. Tier	6,2	6,1	6,1
6. Tier	6,2	5,8	6,0

TABELLE 9

Frequenz-Vergleich der Gruppe II aus der Stunde in der der Handlungsablauf gelernt und ohne Hilfe erstmals fehlerfrei ausgeführt wurde

Versuchsgruppe II: Werte vom Anfang, von der Mitte und vom Ende der Versuchsstunde

	Anfang	Mitte	Ende
1. Tier	8,2	8,6	8,4
2. Tier	6,5	6,4	6,4
3. Tier	5,6	5,5	5,6
4. Tier	4,8	4,8	4,8
5. Tier	5,0	5,0	5,0

F. DISKUSSION

I. DISKUSSION DER EIGENEN ERGEBNISSE

1. Frequenz und Rhythmus

Der normale Frequenzbereich des EEGs der Ratte liegt (nach Pickenhain u.a. (34)) im relaxierten, nicht aktivierten Wachzustand zwischen 3-40/sec. und ist vom allgemeinen Erregungszustand des Tieres abhängig.
Im aktivierten Zustand zeigt die Ratte (Pickenhain u.a. (34)) einen regelmässigen 6-9/sec. Rhythmus, der vom Hippocampus auf den Cortex übergeleitet wird.

Darüber hinaus finden sie beim gesättigten Tier während der Ausbildung des bedingten Nahrungsreflexes ein Überwiegen der langsamen Frequenz von 4-8/sec.
Mit dieser Beobachtung stimmen die Untersuchungen von Hockman (16) überein. Er fand bei Ratten, die er 23-48 Stunden hungern liess eine EEG-Frequenz von 35-60/sec., während er bei gesättigten Tieren eine Frequenz von 6-10/sec. fand.
Von ähnlichen Ergebnissen berichtet Steiner (39) bei getränkten bzw. bei durstigen Ratten.
In der parieto-occipitalen Ableitung fand Weiss u.a. (47) eine Frequenz von 4-7/sec., die durch jede Art von Reiz ausgelöst werden konnte.

Bei dem vorliegenden Versuch zeigen die EEG-Ableitungen eine Frequenz von 4-8/sec.
Dieser relativ langsame Rhythmus könnte möglicherweise auf die geringe Erregung zurückzuführen sein, denn durch die Gewöhnungszeit an die neue Umgebung konnte der Erregungszustand der Tiere sehr kurz gehalten werden. Eine Einwirkung der Umgebungsreize und der Orientierungsreaktionen auf EEG konnte damit ausgeschlossen werden.

Nur bei einem Tier zeigte sich an den ersten zwei Tagen der EEG-Ableitung eine geringe Frequenz-Abnahme von 7/sec. auf 6/sec. Für die restliche Dauer des Experiments war die Frequenz dann unverändert.

Dieses Tier hatte aber erst am 5. Tag gelernt den Glucoseauslösevorgang, zu automatisieren, so dass die beobachtete Verlangsamung nicht mit der von Vogel u.a. (46) geforderten Veränderung identisch sein kann. Bei dieser Ratte hatte es sich wahrscheinlich um die Normalisierung einer geringen Resterregung gehandelt.

Ein weiterer Grund für die langsame EEG-Frequenz der Tiere dieses Experiments liegt darin, dass sie keinen Hunger litten. Durch die geleisteten Hilfen am Anfang des Experiments (Bestreichen des Hebels dick mit zähem Glucosebrei) und später durch die automatisierte Glucoseauslösung konnten die Tiere den grössten Teil ihres Nahrungsbedarfs schon während der Versuchsstunde decken.

Wie Tabelle 1 zeigt, wiesen die Tiere trotz der Umstellung der Nahrungsaufnahme nur geringe, bald wieder kompensierte Gewichtsverluste auf.
Frequenzveränderungen, die auf Hunger zurückzuführen waren, konnten deshalb bei dieser Untersuchung nicht auftreten.

Es zeigte sich vor allem keine Frequenzverlangsamung, die in Korrelation zur Automatisierfähigkeit auftreten sollte. Die Frequenz behielt ihren relativ langsamen Rhythmus bis zur Beendigung der Versuche bei. Dabei konnte auch im EEG kein Unterschied zwischen Tieren die die Versuche schnell lernten, also "guten Automatisierern", oder Tieren, die langsam lernten, festgestellt werden.

Alle Tiere zeigten auch die während der ganzen Versuchsdauer bestehende Desynchronisation in den corticalen EEG-Aufzeichnungen. Es trat keine Überlagerung von synchronen Wellen auf.
Corticale Desynchronisierung findet man im Ratten-EEG im:
aktivierten Wachzustand,
im relaxierten Wachzustand, und
gesteigert während der Ausübung motorischer Akte, und
bei Weckreaktionen (nach Pickenhain u.a. (34)).

Auch Grastyan u.a. (12), die die Tätigkeit des Hippocampus und des Cortex während der Entwicklung von bedingten Nahrungs- und Abwehrreflexen untersuchten, fanden während des ganzen Experiments in den corticalen Ableitungen Desynchronisation. Sie beobachteten nur in einigen Fällen eine langsame Komponente in den corticalen EEG-Ableitungen, die auf das Areal des motorischen Cortex beschränkt war.
Die anderen corticalen Ableitungen, nämlich zwei occipitale, eine somato-sensorische und eine an der Gehörrinde, übertrugen das normale Desynchronisationsmuster.
Übereinstimmend damit beschreiben Pickenhain u.a. (34) bei der Ausbildung eines bedingten Nahrungsreflexes Desynchronisation in den corticalen Ableitungen bei allen automatisierten motorischen Akten. Manchmal beobachteten sie einen langsamen Rhythmus, der im dorsalen Hippocampus entsteht, und auf corticale Areale übertragen werden kann (siehe Seite 54).

2. Der akustische Reiz

Als Stimulus diente im vorliegenden Versuch ein akustisches Signal. Dieses wurde den von anderen Untersuchern oft benützten Lichtblitzen vorgezogen.
Wie schon oben ausgeführt (Seite 19) hat Glaser (11) zu Recht darauf hingewiesen, dass für Tiere jeder kurzdauernde visuelle Impuls (wie z.B. flackerndes Licht) auf eine schnelle Bewegung hinweist. Für das Tier bedeutet dies gewöhnlich Gefahr.
Man kann davon ausgehen, dass Lichtblitze von den Ratten ebenfalls als Anzeichen drohender Gefahr verstanden werden. Eine sich daraus ergebende Erregung würde sich im EEG wiederspiegeln. Dieser Effekt wäre aber für die vorliegende Untersuchung störend gewesen, da dann mit einer Frequenzänderung hätte gerechnet werden müssen.
Es hätte dann die Schwierigkeit bestanden, eine genaue Abmessung dieser Frequenzveränderung von einer bei Automatisation eventuell auftretenden EEG-Änderung zu finden.

Das akustische Signal als Reiz könnte allerdings eine Ursache dafür sein, dass in dieser Untersuchung unter den gegebenen Bedingungen keine Frequenzveränderung bemerkt wurde.
Die Abbildungen in Magoun's Schrift (27) zeigen, dass ein akustischer Reiz keine oder nur geringste Auswirkungen auf den Alpha-Rhythmus hat. Bei Magoun zeigt sich eine Frequenz-Änderung, nämlich eine Alpha-Blockade erst, als das akustische Signal durch ein optisches verstärkt wird.

Friedel (10) schreibt zu diesem Problem, dass akustische und sensorische Reize nur sehr inkonstant Alpha-Blockaden bewirken, die aber, wenn sie überhaupt auftreten, auf jeden Fall weniger ausgeprägt sind.

Zu demselben Ergebnis kommt auch Mundy-Castle (31).

Während der Alpha-Blockade wird der Alpha-Rhythmus durch die schnellere Beta-Frequenz ersetzt. Da ein optischer Reiz eine Alpha-Blockade bewirkt, bedeutet dies eine grosse Frequenzbeeinflussung. Dadurch hätte eine Frequenzverlangsamung bei Automatisation, wie sie von Vogel u.a. (46) gefordert wird, von einer Frequenzbeeinflussung (durch den optischen Reiz) überdeckt werden können. Diese Fehlerquelle schien bei der Wahl des akustischen Signals verringert.

3. Ableitung

Eine weitere Möglichkeit dafür, dass die vorliegenden Ergebnisse keine Übereinstimmung mit den von Vogel, Broverman und Klaiber (46) Geforderten zeigen, kann in der Art der Ableitung liegen. In dem hier durchgeführten Versuch wurde occipital abgeleitet.
Vogel u.a. (46) fordern u.a. eine Ableitung auch von den übrigen corticalen Arealen.
Sie benützen aber in ihrer Untersuchung selbst neben den übrigen Ableitungen die Ableitung aus occipitalen Arealen.
Dagegen ist aber bei der Besprechung ihrer Ergebnisse nicht festzustellen, dass sie bei der Auswertung berücksichtigt haben, ob die Werte von occipitalen oder anderen Ableitungen aufgezeichnet wurden.

Darüberhinaus fordern sie eine Auswertung des EEGs, die nicht nur den Alpha-Rhythmus, sondern auch andere EEG-Parameter wie Beta-Rhythmus, Alpha- und Beta-Index berücksichtigt. Diese Möglichkeiten der Auswertung sind bei der Ratte nicht gegeben. So musste man sich bei dieser Arbeit darauf beschränken, nur die Frequenz auszuzählen. Damit stimmen auch alle vergleichbaren Auswertungen von ähnlichen Tierexperimenten überein.
Bei vielen dieser Arbeiten wird ausserdem noch der hippocampische Rhythmus abgeleitet, der häufig auf den Cortex übergreift. Dieser Rhythmus zeigt bei der Ausbildung bedingter Reflexe oft eine Verlangsamung (siehe später, S. 54). Es wäre daher bei einer eventuell aufgetretenen Frequenzverlangsamung günstig gewesen, den hippocampischen Rhythmus abzuleiten, um ihn vom rein corticalen Rhythmus unterscheiden zu können.
Die vorliegenden Ergebnisse zeigen aber keine Frequenzverlangsamung. Ein rein auf den Hippocampus beschränkter langsamer Rhythmus, der sich in den EEG-Ableitungen dieser Untersuchung nicht zeigen konnte, hätte aber auch mit der von Vogel u.a. (46) beobachteten Frequenzverlangsamung nicht in Beziehung gebracht werden können.

Einen Vorteil gegenüber dem Humanexperiment bringt die in dieser Arbeit angewendete epidurale Ableitung. Die Elektroden liegen dem Gehirn fast auf und die Registrierung der Hirnströme kann so feiner und genauer erfolgen.

4. Auswertung

Eine Fehlerquelle in dieser Arbeit könnte in der Auswertung der Frequenzen liegen. Es wurde aber versucht, diese so gering wie möglich zu halten. Temporäre Erregungen konnten weitgehend ausgeschlossen werden, da die Frequenzen von den jeweils im gleichen Zeitraum abgenommenen Ableitungen ausgezählt wurden.
Auf eine weitere Fehlermöglichkeit bei dieser Art von Versuchen weist Morrell (29) hin. Er berichtet, dass bei vielen (wenn auch nicht bei allen) Arten von Lernen auf die anfänglichen Orientierungsreaktionen ein Hemmprozess folgt. Diese Phase scheint von einer kurzen synchronen EEG-Periode begleitet zu sein. Er betont dann allerdings, dass bei manchen Lernversuchen diese Phase so kurz sein kann, dass sie vom Auswerter übersehen werden kann. Dabei beruft er sich auf Arbeiten von H. Gastaut und A. B. Kogan.
Diese Fehlerquelle kann auch bei der vorliegenden Arbeit nicht ausgeschlossen werden.

Ausserdem muss man berücksichtigen, dass in einem Konditionierungsversuch nicht jeder Mensch oder jedes Tier reagiert.
Visser (43) fand bei seinen Untersuchungen (Konditionieren des Alpha-Rhythmus), dass 30 % der Testpersonen niemals reagierten. Unter seinen Versuchspersonen befanden sich allerdings auch Hirngeschädigte.

5. Zusammenfassung von I.

In dieser Arbeit konnte bei einem Automatisationsversuch keine Frequenzverlangsamun festgestellt werden.

Wenn man die Vielzahl der Fehlerquellen, die ein Human- oder Tierexperiment mit sich bringt, unberücksichtigt lässt, zeigt diese Arbeit, dass:

a) unter den gegebenen Bedingungen brachte die Ausbildung einer automatisierten Reaktion nicht die von Vogel u. a. (46) geforderten Auswirkungen auf das EEG.
b) Dagegen stimmen die Beobachtungen am corticalen EEG mit den Arbeiten von Pickenhain u. a. (32, 33, 34) und Grastyan u. a. (12) überein.

II. DISKUSSION DER ARBEIT VON VOGEL, BROVERMAN UND KLAIBER

1. Alpha-Veränderung beim Menschen

Da von Vogel u. a. (46) eine Alpha-Veränderung gefunden wurde, muss zuerst geklärt werden, wann eine Alpha-Veränderung festgestellt wird.

Folgende Möglichkeiten werden angegeben:

a) Eine Alpha-Verlangsamung tritt verbunden mit Automatisationsfähigkeit auf. (Vogel u. a. (46))
b) geistige Tätigkeit (Kopfrechnen) bewirkt Alpha-Blockade. (Mundy-Castle (32))
c) der occipitale Alpha-Rhythmus ist bei manchen Menschen vom Herzschlag abhängig. (Cohn (4))
d) die Frequenz des EEGs ist abhängig von der Schnelligkeit der Gehirndurchblutung. (Ectors (5))
e) Hypnose bedingt Alpha-Blockade, erwähnt bei Jasper (19)
f) Alpha ist von der Reizfrequenz abhängig. (Magoun (27))
g) ein optischer Reiz bewirkt Blockierung des Alpha-Rhythmus. (Friedel (10), Magoun (27), Jasper (19), Visser (43))
h) Die Vorstellung von Licht oder "visuelle Aufmerksamkeit" bewirkt Alpha-Blockade oder Erniedrigung des Alpha-Rhythmus. (Jasper (19), Kenneth (23))
i) Ermüdung bedingt starken Wechsel in der Ausprägung des Alpha-Rhythmus. (Friedel (10))
k) Schläfrigkeit bewirkt ein Verlangsamen des Alpha-Rhythmus. (Jasper u. a. (18), Simon u. a. (38), Williams u. a. (48))

In Ergänzung dazu schreibt Bochnik (2), dass die grössten Alpha-Veränderungen in der Jugend und vorwiegend bei Frauen gefunden werden, ausserdem ganz allgemein bei Vergiftungen, Gefässprozessen und Psychopathien.
Kenneth (23) weist noch darauf hin, dass ein einfacher Alpha-Rhythmus sich im Wellenanalysator als ein komplexes Kompositum von einer Mischung aus verschiedenen Frequenzen erweist.

2. Beziehung zwischen langsamen Wellen und Aufgabenlösung

Vogel u. a. (46) beobachteten in ihrer Untersuchung, dass langsame Wellen mit guter Automatisierfähigkeit und mit guter geistiger Aufgabenlösung verbunden waren.

In einem Experiment mit manueller Aufgabenlösung (das Drücken eines Knopfes) fand Jasper u.a. (18) bei der Verlangsamung des Alpha-Rhythmus, eine schlechte Aufgabenlösung.
Zu dem selben Ergebnis kam Simon u.a. (38) in einem ähnlichen Versuch.
In ihrer Arbeit, Relationship Between EEG and Test Intelligence (44) schreiben Vogel u.a. selbst, dass fast alle Untersuchungen, die sich mit dem Zusammenhang zwischen EEG und Intelligenz beschäftigen, zu folgendem Ergebnis kommen:
In jedem Fall, in dem ein Zusammenhang zwischen Intelligenz und EEG-Frequenzen gefunden wurde, stand geringe Intelligenz im Zusammenhang mit langsamer Alpha-Frequenz und langsameren EEG-Rhythmen wie Delta und Theta, während hohe Intelligenz mit den schnellen Frequenzen verbunden waren.
Mundy-Castle (31) bezeichnet den Theta-Rhythmus in seiner Arbeit als Rhythmus, der zu Gefühlsbewegungen und geistiger Unreife, in Beziehung steht.
Ausserdem findet er bei geistiger Tätigkeit ein Schwanken des Alpha-Rhythmus zwischen Alpha-Blockade und unverändertem Alpha-Rhythmus.

3. Aufgabenstellung

Als Ursache für Alpha-Änderungen, die man bei der Beantwortung von Aufgaben gefunden hatte, kommen mehrere Fälle in Betracht:
Einmal besteht die Möglichkeit, dass der Fragebeantworter mit visuellem oder mit verbalem Vorstellungsvermögen arbeiten kann. (Kenneth (23))
Während der visuelle Typ im EEG mit einem Rückgang des Alpha-Rhythmus verbunden ist, zeigt der verbale Typ einen unveränderten Alpha-Rhythmus. Die meisten Versuchspersonen verwenden allerdings eine Mischung aus den beiden Arten des Vorstellungsvermögens, wobei eine Art vorherrscht.
Eine Frequenzverschiebung kann daher von den Fragebeantwortern ebenso abhängen wie von den gestellten Aufgaben.

Darüberhinaus sollen die Aufgaben noch möglichst einfach gehalten werden, um eine Gedankenkomplexität zu vermeiden.

Wichtig scheint auch in diesem Zusammenhang die Wirkung des Stress auf den Alpha-Rhythmus (Kenneth (23)), da er eine Verminderung des Alpha-Rhythmus bewirkt.

4. Bedeutung der Frequenzverlangsamung

Vogel u.a. (46) erklären die Bedeutung langsamer Wellen mit zwei Arten von Hemmungen. Die 1. Hemmung würde Stillegung des gesamten excitatorischen Prozesses bedeuten, wie z.B. im untätigen Zustand oder im Schlaf. Die 2. Hemmung würde die selective Stillegung einzelner Antwortsysteme bedeuten, so dass der fortbestehende excitatorische Zustand zielgerichtet wird, wie z.B. bei Automatisation bestimmter Akte. Die langsame Alpha-Frequenz, die sie fanden, würde dann unter Hemmung II fallen.

Viaud (42), der beim Konditionieren ebenfalls langsame Wellen auftreten sah, erklärte diese (nach Pawlow) als Zeichen für Schlaf. Er wird als innere Hemmung, die über den ganzen Cortex verbreitet ist, bezeichnet.

Wenn eine Tätigkeit oder ein Gedanke automatisiert ist, ist zu seiner Ausführung nicht mehr die gleiche Geisteskraft nötig wie vorher, um den Bewegungsablauf zu vollziehen. Die Aktivität (geistig oder körperlich) wird auf eine "formelhafte Verkürzung" gebracht. (Sury (41)) Man spricht bei einer körperlichen Tätigkeit dann davon, etwas "im Schlaf zu können".
Es wäre auf Gedankenarbeit übertragen dann ebenso erklärlich, wenn das EEG eines Menschen bei automatisierter Gedankenarbeit das Bild eines ruhigen, wachen und infolge geringer Beanspruchung, teilnahmslosen Menschen zeigen würde. In der Literatur wurden bisher die langsamen Wellen, wenn sie bei Automatisation auftraten, als Mangel an Aufmerksamkeit oder als Schläfrigkeit gedeutet. Dies erwähnen auch Vogel u.a. (46), die aber diese Theorie ablehnen.

5. Zusammenfassung von II. und Hinweise auf biochemische Untersuchungen

Bisher wurde eine Verlangsamung des Alpha-Rhythmus mit Schläfrigkeit oder bei Test-Intelligenz-Versuchen mit geringer Intelligenz erklärt. Es ist auch jetzt noch schwierig zu verstehen, warum ein Rhythmus, der bei Menschen mit geringer Intelligenz gefunden wurde, gleichzeitig mit gutem Automatisiervermögen, d.h. einem der Intelligenzfaktoren, verbunden sein sollte. Betrachtet man ausserdem, bei wieviel verschiedenen Vorgängen eine Alpha-Veränderung auftritt, so ist es nicht unbedingt überzeugend, dass eine dieser Veränderungen ausschliesslich auf eine so spezifizierte Tätigkeit wie die Automatisierfähigkeit bezogen werden sollte.

Auf eine weitere Möglichkeit, die neurophysiologischen Vorgänge während geistiger Tätigkeit zu überprüfen, haben Vogel u. a. (46) selbst hingewiesen. Sie erwähnten kurz biochemische Untersuchungen im Gehirn. In diesen wird die Anhäufung von Noradrenalin, durch Hemmung von Monoaminooxydase, als eine der Ursachen für das Auftreten von langsamen Wellen genannt.

L. R. Friede (9) fand in biochemischen Untersuchungen, dass langsame Wellen mit mehr als 50 % Abnahme der Enzymaktivität verbunden sind.

Auch diese Arbeiten weisen darauf hin, dass über die Probleme der langsamen Wellen noch weitere möglicherweise biochemische Untersuchungen notwendig sind.

III. DISKUSSION DER ÜBRIGEN LITERATUR

1. Das Auftreten langsamer Wellen

Grastyan u. a. (12) fanden während der Entwicklung des bedingten Nahrungs- und Abwehrreflexes im Verlauf des ganzen Experiments in den corticalen Ableitungen Desynchronisation vor.
Nur in einigen Fällen beobachteten sie in der Ableitung des motorischen Cortex das Auftreten einer langsamen Frequenz. In dieser Zeit bewegte sich das Tier nicht. Hierbei könnte es sich um die von Pickenhain und Klingberg (34) als Arrestreaktion bezeichnete Haltung handeln, die diese bei der Ausbildung von bedingten Abwehr- und Nahrungsreflexen ebenfalls öfters beobachteten.
Wenn die Arrestreaktion in eine zielgerichtete motorische Reaktion überging, fanden sie, für die Dauer der Arrestreaktion, im Hippocampus den langsamen hippocampischen Rhythmus (LHR) neben neocorticaler Desynchronisation. Bei starker, motorischer Aktivität stellten Pickenhain u. a. häufig eine Rhythmusübernahme des LHR auf corticale Areale fest. Für diesen Vorgang spricht auch die strenge Begrenzung des von Grastyan u. a. (12) beobachteten langsamen Rhythmus auf den motorischen Cortex.
Pickenhain u. a. (34) beschrieben sonst das Auftreten eines langsamen Rhythmus nur bei Hemmung des Orientierungsreflexes und bei der Ent-

wicklung des bedingten Reflexes. Dieser langsame Rhythmus war streng auf das motivierte Verhalten der Tiere, wie zielstrebiges Loslaufen, beschränkt.
Er verschwand bei allen automatisierten Handlungen. Ausserdem konnten die genannten Autoren durch ihre Ableitungsmethode nachweisen, dass der langsame Rhythmus im dorsalen Hippocampus entstanden ist.

In der Literatur finden sich folgende Areale, in denen sich bei der Ausarbeitung bedingter Nahrungs- oder Abwehrreflexe ein langsamer Rhythmus zeigt:
a) occipitaler Cortex (Anokhin (1), Viaud (42))
b) sensomotorischer Cortex (Elazar (7))
c) visueller Cortex (Anokhin (1), Grastyan (12))
d) Hippocampus (Anokhin (1), Pickenhain (34), Pickenhain (33))
e) Thalamus (Anokhin (1))
f) Subthalamus (Elazar (7))
g) reticuläre Formation (Anokhin (1), Elazar (7), Viaud (42))
h) Amygdala (Elazar (7))
i) Mittelhirn (Elazar (7)).

Darüberhinaus berichten Klingberg u. a. (25) von Arbeiten weiterer Autoren, die den langsamen Rhythmus neben den oben genannten in folgenden Hirnarealen fanden:
a) Nucleus centralis lateralis thalami
b) Nucleus caudatus
c) Habenula
d) Fornix
e) Area entorhinalis.

2. Der Ursprungsort der langsamen Wellen

Als Entstehungsort der langsamen Wellen wird folgendes angegeben:
a) Hippocampus (Elazar (7), Grastyan (12), Green (13), Pickenhain (34), Klingberg (25))
b) Subthalamus (Elazar (7))
c) Mittelhirn (Elazar (7))
d) Amygdala (Elazar (7))
e) retikulare Formation (Elazar (7))

3. Erklärung der langsamen Wellen

In der Literatur wird das Auftreten der langsamen Wellen übereinstimmend als eine zeitliche Verbindung zwischen den corticalen und subcorticalen Hirnstrukturen bezeichnet. Der Hippocampus soll dabei in der Hemmung des Orientierungsreflexes eine grosse Rolle spielen. (Anokhin (1), Elazar (7), Grastyan (12), Kogan (22), Klingberg (25), Pickenhain (34))

4. Zusammenfassung von III.

Wenn man vergleicht, in welchen Hirnarealen ein langsamer Rhythmus abgeleitet wurde und welchen Hirnstrukturen seine Entstehung zugeschrieben wurde, zeigt sich deutlich die Rolle des Hippocampus als wichtigstes Integrationszentrum des Gehirns. Andererseits erhebt sich die Frage, die Anokhin (1) schon stellte:
"..... how can the same slow rhythm exist in these heterogeneous areas of the brain, where individualized nervous interactions and integrations occur?" 1)

---

1) P. K. Anokhin: The Electroencephalogram as a Resultant of Ascending Influences on the cells of the Vortex.
Electrenceph. clin. Neurophysiol. 1964, 16 : 27 ff (43)
Übersetzung:
..... wie kann derselbe langsame Rhythmus in diesen verschiedenen Hirngebieten existieren, in denen ganz bestimmte Wechselwirkungen der Nerven und Integrationen auftreten?

G. ZUSAMMENFASSUNG

In einem Tierversuch wurde die Ausbildung einer automatisierbaren Reaktion erreicht.
Dabei wurde von 21 Ratten das EEG abgenommen.

Das Ergebnis war:
1. Die ausgezählte Frequenz zeigte keine Veränderung.
2. Es trat insbesondere keine Verlangsamung oder Synchronisierung des Rhythmus auf, die von der Automatisierfähigkeit abhängig gewesen wäre.

Es wurde also keine Übereinstimmung mit den von Vogel, Broverman und Klaiber im Humanexperiment gefundenen Ergebnissen erzielt.

Bei der Auswertung der Literatur über ähnliche Versuche zeigte sich, dass man bei der Frage, ob ein Zusammenhang zwischen geistiger Fähigkeit und EEG besteht oder ein Zusammenhang zwischen einem einzelnen Intelligenzfaktor und EEG und wie sich das Phänomen der langsamen Wellen klären lässt, noch zu sehr auf Vermutungen angewiesen ist.

Um überzeugendere Ergebnisse zu erzielen, müssen auf diesem Gebiet weitere Forschungen angestrebt werden. Vielleicht bieten die biochemischen Untersuchungen einen Ansatz, die neurophysiologischen Vorgänge während des Auftretens langsamer Wellen aufzuklären.

E. TERMINOLOGIE

Die benützte Terminologie wurde den Definitionen der Arbeit von Vogel u. a. (46) entnommen, ausserdem einem Vorschlag über EEG-Terminologie, der von dem Terminologie-Komitee der internationalen Föderation für Electroencephalographie und klinische Neurophysiologie herausgegeben wurde (49).

BENÜTZTE ABKÜRZUNGEN

EEG = Electroencephalogramm
ECG = Electrocortigramm
LHR = langsamer hippocampischer Rhythmus

F. LITERATURVERZEICHNIS

(1) ANOKHIN P. K.:
The Electroencephalogram as a Resultant of Ascending Influences on the Cells of the Cortex.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1964; 16 : 27-43

(2) BOCHNIK H. J., MENTZOS S., RASCH W.:
Variability of the Frequency and Amplitude of a Rhythm.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1961; 13 : 653

(3) CLEMENTE C. D., STERMAN M. B., WYRWICKA W.:
Post-reinforcement EEG synchronization during alimentary Behavior.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1964; 16 : 355-365

(4) COHN R.: Periodogram Analysis of the human EEG.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1961; 13 : 823

(5) ECTORS L.: The Rapidity of Cerebral Blood Flow and the EEG.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1961; 13 : 958

(6) EIDELBERG E., SCHWARTZ A. S., HARRIS J.:
Interdisciplinary Discussion of the Nervous System.
Sci. 1964; 144 : 1478-1480

(7) ELAZAR Z., ADEY W. R.:
Electroencephalographic Correlates of Learning in Subcortical and Cortical Structures.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1967; 23 : 306-319

(8) ELLINGSON R. J.:
Relationship between EEG and Test-Intelligence: A commentary.
Psychol. Bull. 1966; 65/66 : 91-98

(9) FRIEDE R. L.: Correlations between the EEG and Cortical Histochemical Changes in Experimental Brain Lesions.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1961; 13 : 823

(10) FRIEDEL B.: Seminar über das Electroencephalogram mit EEG-Atlas.
München Lehmanns Verlag 1965

(11) GLASER E. M.: Die physiologischen Grundlagen der Gewöhnung.
Stuttgart Georg Thieme Verlag 1968

(12) GRASTYÀN E., LISSÀK K., MADARÀSZ I., DONHOFFER H.:
Hippocampal electrical activity during the Development of conditioned Reflexes.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1959; 11 : 409-429

(13) GREEN J. D., MAXWELL D. S., PEITSCHE H.:
Hippocampal electrical Activity.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1961; 13 : 854-867

(14) HALL R. D.: Habituation of Evoked Potentials in the Rat Under Conditions of Behavioral Control.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1968; 24 : 155-165

(15) HEBB D. O.: Einführung in die moderne Psychologie.
Weinheim und Berlin, Verlag Julius Beltz 1967

(16) HOCKMAN C. H.:
EEG and Behavioral Effects of Food Deprivation in the Albino Rat.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1964; 17 : 420-427

(17) HOTHERSALL D.:
Resistance to Extinction when continuous Reinforcement is followed by Partial Reinforcement.
J. exp. Psychol. 1966; 72 : 109-112

(18) JASPER H., SHAGASS C.:
Conditioning the occipital Alpha Rhythm in Man.
J. exp. Psychol. 1941a; 28 : 373-388

(19) JASPER H., SHAGASS C.:
Conscious time judgements related to Conditioned time intervals and voluntary control of the Alpha Rhythm.
J. exp. Psychol. 1941b; 28 : 503-508

(20) JOHN R.E., LEIMAN A.L., SACHS E.:
An exploration of the functional Relationship between Electroencephalographic Potentials and differential Inhibition.
Ann. N.Y. Acad. Sci. 1961; 92 : 1160-1182

(21) JOHN E.E.: High nervous Functions: Brain Functions and Learning.
Ann. Rev. Physiol. 1961; 23 : 451-484

(22) KATZ D., KATZ R.:
Handbuch der Psychologie.
Basel, Stuttgart Benno Schwabe u. Co. Verlag 1960

(23) KENNETH H., SLATTER M.D.:
Alpha Rhythms And Mental Imagery.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1960; 12 : 851-859

(24) KLINGBERG F., PICKENHAIN L., GELBRICH D.:
Registrierung der Atmung bei der freibeweglichen Ratte im chronisch electrophysiologischen Experiment.
Acta biol. med. german. 1964a; 12 : 619-622

(25) KLINGBERG F., PICKENHAIN L.:
Veränderungen des ECG, der corticalen hervorgerufenen Potentiale und der Startle-Reaktionen bei Ratten während der Ausarbeitung eines bedingten Fluchtreflexes.
Acta biol. med. german. 1964b; 12 : 552-567

(26) KOGAN A.B.: The Moscow Colloquium on Electroencephalography of Higher Nervous Activity.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1960; 12 : 51-64

(27) MAGOUN H.W.:
Recent contributions to the Electrophysiologic of Learning.
Ann. N.Y. Acad. Sci. 1961; 92 : 818-829

(28) MORRELL R.M.:
Glossary of Neurophysiol.
New York: Consultants Bureau 1958

(29) MORRELL F.: Electrophysiological Contributions to the Neural Basis of Learning.
Physiol. Rev. 1961; 41 : 443-494

(30) MORRELL F., JASPER H. H.:
Electrographic Studies of the Formation of Temporary Connections in the Brain.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1956; 8 : 201

(31) MUNDY-CASTLE A. C.:
The Electroencephalogram and Mental Activity.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1957; 9 : 643-655

(32) PICKENHAIN L., KLINGBERG F.:
Behavioral and Electrophysiological changes During avoidance Conditioning to light flashes in rat.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1965; 18 : 464-470

(33) PICKENHAIN L., KLINGBERG F.:
Hippocampal Slow Wave Activity as a Correlate of Basic Behavioral Mechanisms in the Rat.
Prog. Brain Res. 1967; 27 : 218-227

(34) PICKENHAIN L., KLINGBERG F.:
Abhandlungen aus dem Gebiet der Hirnforschung und Verhaltensphysiologie.
Brain and Behavior Research.
Monograph Series. Jena G. Fischer-Verlag 1969

(35) ROGER G., HALL M. R.:
Acoustically evoked Potentials in the Rat during conditioning.
J. Neurophysiol. 1967; 30 : 875-892

(36) SCHALTENBRAND G.:
Spezielle Neurologische Untersuchungsmethoden.
Stuttgart 1968, G. Thieme Verlag S. 143-172

(37) SCHOONARD J., LAWRENCE D. H.:
Resistance to Extinction as a Function of the Number of Delay of Reward Trials.
Psychol. Reports 1962; 11 : 275-278

(38) SIMON Ch. W., EMMONS W. H.:
EEG, Consciousness and sleep.
Sci. 1956; 124 : 1066-1069

(39) STEINER W. G.:
Electrical Activity of the Rat Brain as a Correlate of Primary Drive.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1962; 14 : 23-243

(40) STEVENS S. S.:
Handbook of Experimental Psychology.
LTD London Chapman and Hall 1951

(41) SURY K. von: Wörterbuch der Psychologie.
Basel Stuttgart, Schwabe u. Co. Verlag 1967

(42) VIAUD G., KAYSER Ch., KLEIN M., MEDIONI J.:
Traité de Psychophisiologie I.
Paris Presses Universitaires de France 1963

(43) VISSER S. L.: Correlations between the contingent Alpha Blocking, EEG Characteristics and clinical Diagnosis.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1961; 13 : 438-446

(44) VOGEL W., BROVERMAN D. M.:
Relationship between EEG and Test Intelligence. A critical review.
Psychol. Bull. 1964a; 62 : 132-144

(45) VOGEL W., BROVERMAN D. M.:
A Reply to Relationship between EEG and Test Intelligence. A commentary.
Psychol. Bull. 1966; 65 : 99-109

(46) VOGEL W., BROVERMAN D. M., KLAIBER E. L.:
EEG and Mental Abilities.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1968; 24 : 166-175

(47) WEISS T., FIFKOVÁ E.:
The use of spreading Depression to Analyse the mutual Relationship between the Neocortex and the Hippocampus.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1960; 12 : 841-850

(48) WILLIAMS H. L., GRANDA A. M., JONES R. C., LUBIN A. L., ARMINGTON I. C. :
EEG-Frequency and Finger-pulse Volume as Predictors of Reaction Time during Sleep Loss.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1962; 14 : 64-70

(49) FEDERATION NEWS
BRAZIER D., COBB W. A., FISCHGOLD H., GASTAUT H., GLOOR P., HESS R., JASPER H., LOEB C., MAGNUS O., PAMPIGLIONE G., RÉMOND A., STORM VAN LEEUWEN W., WALTER G. :
Preliminary Proposal for an EEG Terminology by the Terminology Committee of the International Federation for Electroencephalography and Clinical Neurophysiology.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 1961; 13 : 646-650

Für die Überlassung des Themas und die freundliche Beratung bei der Durchführung der Arbeit, danke ich Herrn Dr. Ch. Becker-Carus.

Herrn Prof. Dr. D. Ploog danke ich dafür, dass der experimentelle Teil an seinem Institut durchgeführt werden konnte.

LEBENSLAUF

Am 26.5.1945 wurde ich als 2. Kind des Ingenieurs Hans Herzog und seiner Ehefrau Anna in Thannhausen (Schwaben) geboren.

Von 1951 bis 1956 besuchte ich die Goethe-Volksschule in Augsburg.

1956 legte ich die Aufnahmeprüfung für das Stetten-Institut (Realgymnasium) Augsburg ab und schloss dort meine Schulzeit mit dem Abitur 1965 ab.

Nach einem Semester Studium der Naturwissenschaften an der Universität München (Wintersemester 1965/66) wechselte ich zur humanmedizinischen Fakultät über und begann im Sommersemester 1966 das Studium der Medizin an der Universität München, an der ich bis zum Staatsexamen eingeschrieben war. Am 21.12.1971 bestand ich dort die Ärztliche Prüfung.

Als Medizinalassistentin arbeitete ich vom 14.1.1972 bis zum 31.3.1972 am Staatlichen Gesundheitsamt München und jetzt seit dem 1.4.1972 im Krankenhaus München-Oberföhring auf der internistischen Abteilung.